

ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ: ОБЗОР ЭТАЛОННЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ МОДЕЛЕЙ

Росляков А.В.¹, Кирьяков А.А.²

¹ Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

² ООО «Газпром трансгаз Самара», Самара, РФ

E-mail: aros1@mail.ru

Интернет вещей IoT (Internet of Things) должен быть способен соединять миллиарды или триллионы разнородных объектов через Интернет и другие сети, поэтому существует критическая потребность в универсальной, гибкой многоуровневой архитектуре. В настоящее время не существует единой эталонной архитектурной модели, и ее создание является непростой задачей, несмотря на многие усилия по стандартизации. Основная проблема в создании эталонной архитектурной модели заключается в естественной фрагментации возможных применений технологий IoT. Каждое из применений зависит от многих, очень часто различных, параметров и требований к проектным характеристикам. К этой проблеме добавляется еще одна – тенденции каждого поставщика или производителя предлагать свою платформу или свои решения для конкретной сферы применения технологии IoT. В статье проанализированы несколько подходов к созданию эталонных архитектурных моделей, которые могут оказаться полезными в уже идущем процессе стандартизации технологий Интернета вещей.

Ключевые слова: Интернет вещей IoT, эталонная архитектурная модель, трехуровневая модель IoT, пятиуровневая модель IoT, IoT-модель MCЭ-T, IoT-модель IWF, IoT-модель IoT-A, стек протоколов IETF для IoT

Введение

Одна из основных проблем, связанная с технологическим аспектом развертывания систем Интернета вещей IoT (Internet of Things) [1], заключается в определении эталонной архитектурной модели, поддерживающей текущие функции и будущие расширения. Такая архитектура должна обеспечивать [2]:

- *масштабируемость* – возможность управлять растущим количеством устройств и служб без ухудшения их работы;
- *совместимость* – устройства от разных производителей могли взаимодействовать;
- *распределенность* – создание среды, в которой данные собираются из разных источников и обрабатываются разными объектами;
- *возможность работать с ограниченными ресурсами*, поскольку интернет-вещи обычно имеют небольшую вычислительную мощность и объемы памяти;
- *безопасность*, предотвращение несанкционированного доступа.

В ближайшее время разнородные решения, скорее всего, будут обгонять в своем развитии развертывание IoT-решений, основанных на функционально совместимых стандартах [3–5]. Этот этап проходят все новые технологические решения. Две основные характеристики IoT-устройств, которые необходимо учитывать: это устройства с низкой мощностью и, соответственно, низким энергопотреблением (расчетное время работы месяцы и годы без подзарядки) и частый

обмен небольшими блоками данных по сетям связи с потерей пакетов. Существующие стандартные протоколы сети Интернет являются неоптимальными для решения этой задачи [7].

Если взглянуть более широко, то становится очевидным некоторый дисбаланс, который возникает из-за наличия огромного количества IoT-устройств, располагающихся в разных местах и генерирующих поток данных с большой скоростью, и применения облачных технологий, хранящих огромные массивы данных в небольшом количестве хранилищ. При этом скорость обновления данных остается относительно невысокой.

Для совместного использования и функционирования этих двух базовых подсистем Интернета вещей требуются определенные возможности от задействованных сетевых протоколов на всех уровнях архитектуры IoT.

В области решения этих вопросов работают несколько международных организаций, ставя своей целью адаптировать и расширить протоколы сети Интернет для поддержки функционирования устройств IoT. В то время как существующие стандарты Интернета сделали IoT возможным, в ближайшем будущем вряд ли появится стек новых сетевых протоколов, которые дополняют или модифицируют существующие для сферы IoT. Как и множество других протоколов и технологий сети Интернет до этого, Интернет вещей будет какое-то время стихийно развиваться и совершенствоваться, постепенно выявляя жизнеспособные технологии и протоколы [7].

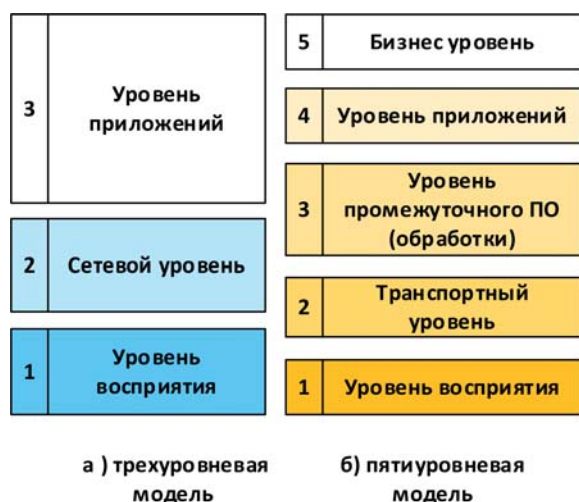


Рисунок 1. Трехуровневая и пятиуровневая модели IoT

В настоящее время известен ряд архитектурных моделей IoT различных международных организаций, которые во многом совпадают, но имеют и свои отличия. В статье проведен сравнительный анализ данных моделей.

Трехуровневая модель IoT

Самая простая – трехуровневая архитектура, состоящая из уровней восприятия, сетевого уровня и уровня приложений (рисунок 1, а), была предложена на заре развития технологий IoT [8].

Уровень восприятия – физический уровень, на котором функционируют объекты (датчики) для обнаружения и сбора информации. Они измеряют некоторые физические параметры окружающей среды или идентифицируют другие интеллектуальные объекты (смарт-объекты). Эти смарт-объекты, являющиеся фундаментальными блоками, на которых основан Интернет вещей, могут быть предметами повседневного обихода (холодильник, телевизор, автомобиль и т. д.) или простыми приборами, оснащенными датчиками и вычислительными возможностями, например на основе микроконтроллеров или микрокомпьютеров типа RaspberryPi, Arduino, BeagleboneBlack и т. п.

Сетевой уровень выполняет задачу транспортировки данных, предоставляемых уровнем восприятия до прикладного уровня. Он включает в себя все технологии и протоколы, которые делают это подключение возможным, и его не следует путать с сетевым уровнем ISO/OSI, который маршрутизирует данные в сети.

Наиболее часто используемые протоколы IoT, относящиеся к сетевому уровню данной модели, показаны в таблице 1 (сгруппированы по уровням модели ISO/OSI) [9].

Таблица 1. Основные протоколы, используемые в IoT

Уровень приложений CoAP, MQTT, AMQP, XMPP, DSS Обнаружение услуг: mDMS, DNS-SD, SSDP Безопасность: TLS, DTLS			
Транспортный уровень TCP, UDP			
Сетевой уровень Адресация: IPv4/IPv6 Маршрутизация: RPL, CORPL, CARP			
Уровень адаптации 6LoWPAN, 6TiSCH, 6Lo			
Канальный уровень			
IEEE 802.15.4 (ZigBee) IEEE 802.11 (WiFi)	IEEE 802.15.1 (Bluetooth) IEEE 802.3 (Ethernet)	LPWAN (LoRaWAN) IEEE 1901 (PLC)	RFID, NFC Z-Wave
Физический уровень			

На канальном уровне особенно важны беспроводные протоколы. Беспроводные датчики могут быть установлены в труднодоступных местах и требуют меньших материальных и человеческих ресурсов для их установки. Кроме того, в беспроводной сети различные узлы могут быть легко добавлены или удалены, а их расположение может быть изменено без пересмотра структуры всей сети.

Однако в других приложениях может потребоваться создание проводной сети, которая обладает более высокой надежностью и более высокими скоростями передачи. В качестве примера можно привести внутреннюю сеть автомобиля, которая соединяет различные электронные блоки управления, управляющие механическими частями автомобиля (рулевое управление, тормоз и т. д.). В этом случае очень важно иметь надежную и быструю сеть, потому что задержки или неисправности могут иметь серьезные последствия для людей, находящихся в автомобиле.

Уровень приложений включает в себя все программное обеспечение, необходимое для предоставления конкретной услуги. На этом уровне данные, полученные с нижних уровней, хранятся, агрегируются, фильтруются и обрабатываются, используются базы данных, программное обеспечение для анализа и т. д. В результате этого процесса обработки данные становятся доступными для реальных приложений Интернета вещей («умные» носимые устройства, «умные» автомобили и т. д.).

Трехуровневая архитектура определяет основную идею Интернета вещей, но этого недостаточ-

но, потому что многие приложения часто фокусируются на более тонких аспектах.

Пятиуровневая модель IoT

Другой важной и очень распространенной моделью IoT является пятиуровневая архитектура (см. рисунок 1, б) [10], которая включает уровень восприятия, сетевой уровень, уровень промежуточного программного обеспечения (ППО) (обработки), уровень приложений и бизнес-уровень. Архитектура для IoT должна учитывать многие факторы, такие как масштабируемость, совместимость, надежность, QoS и др. В этом отношении архитектура Интернета вещей на основе ППО помогает создавать приложения более эффективно; этот уровень действует как связь между приложениями, данными и пользователями.

Роль уровней восприятия и прикладного такая же, как и в трехуровневой архитектуре. Отметим функции остальных трех уровней.

Уровень ППО имеет такие важные функции, как агрегирование и фильтрация полученных данных от аппаратных устройств. В общем случае этот уровень обеспечивает абстракцию между технологиями IoT и приложениями. В ППО детали различных технологий скрыты, а стандартные интерфейсы позволяют разработчикам сосредоточиться на разработке приложений, не учитывая совместимость между приложениями и инфраструктурами. ППО получило большое значение в последние годы из-за его важной роли в упрощении разработки новых услуг и интеграции устаревших технологий в новые.

Выделим главные преимущества использования ППО:

- 1) поддержка различных приложений;
- 2) работа на различных операционных системах и платформах;
- 3) распределенные вычисления и взаимодействие сервисов среди разнородных сетей, устройств и приложений;
- 4) поддержка стандартных протоколов;
- 5) предоставление стандартных интерфейсов с обеспечением переносимости и взаимодействия;
- 6) важная роль в стандартизации;
- 7) обеспечение стабильного высокоуровневого интерфейса для приложений.

Вот некоторые программные технологии, широко используемые в настоящее время для управления огромным объемом данных, формируемых устройствами IoT:

– *облачные вычисления*, где предоставляются такие услуги, как хранение или обработка данных на базе ресурсов дата-центров, настраиваемых и

доступных удаленно в форме распределенной вычислительной архитектуры;

– *туманные вычисления*, при которых обработка данных частично распределяется на периферийные узлы сети для увеличения производительности систем IoT.

Транспортный уровень передает данные датчиков от слоя восприятия к слою обработки и в обратную сторону через такие сети и технологии, как сотовые сети 3G/4G/5G, LAN, Bluetooth, RFID, NFC и др.

Бизнес-уровень управляет всей системой IoT, включая приложения, бизнес-модели, модели прибыли и конфиденциальность пользователей.

Эталонная модель МСЭ-Т

Эталонная модель IoT от Международного союза электросвязи (МСЭ-Т) представлена в Рекомендации Y.2060 [1; 11]. В отличие от большинства других эталонных моделей, модель МСЭ-Т детализирует фактические физические компоненты экосистемы IoT, которые должны быть соединены, интегрированы, управляемы и представлены приложениям.

Важный аспект этой модели заключается в том, что IoT на практике не является сетью физических вещей. Более подходящее описание IoT – сеть *устройств*, взаимодействующих с физическими вещами, и прикладные платформы – компьютеры, планшеты и смартфоны, взаимодействующие с этими устройствами.

Эталонная модель IoT, согласно Рекомендации МСЭ-Т Y.2060, включает следующие элементы (рисунок 2):

Вещь (Thing) – предмет реального физического (*физическая вещь*) или информационного (*виртуальная вещь*) мира, который может быть выделен, идентифицирован и подключен к сети связи.

Устройство (Device) – элемент оборудования, который обладает обязательными возможностями коммуникаций и дополнительными возможностями измерения физических величин, выполнения определенных физических действий, а также ввода, хранения и обработки информации.

Устройство переноса данных (Data-carrying Device) – подключается к физической вещи и непрямым образом соединяет эту физическую вещь с сетями связи. Примерами могут служить активные метки RFID.

Устройство сбора данных (Data-capturing Device) – считывающее и/или записывающее устройство, взаимодействующее с физическими вещами. Взаимодействие может быть непрямым – с помощью устройств переноса данных,

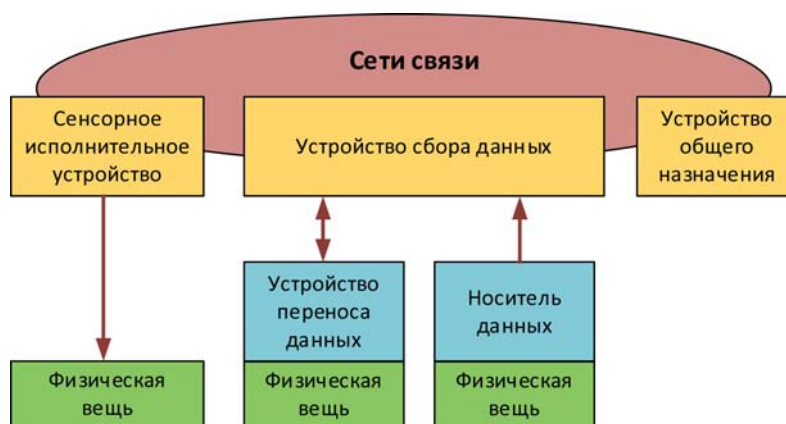


Рисунок 2. Типы устройств и их взаимосвязь с физическими вещами [11]

или прямым – с использованием носителя данных, подключенного непосредственно к физической вещи.

Носитель данных (Data Carrier) – объект переноса данных, не оснащенный элементами питания, подключаемый к физической вещи и предоставляющий информацию в пригодном виде устройству сбора данных. Этот элемент модели включает в себя штрих-коды и QR-коды, нанесенные на физические вещи.

Сенсорное устройство (Sensing Device) – класс устройств, измеряющих параметры окружающей среды и преобразующих ее в цифровые сигналы, пригодные для передачи.

Исполнительное устройство, актуатор (Actuating Device) – устройство, которое может преобразовывать электрические сигналы, поступающие из информационных сетей, в реальные физические действия.

Устройство общего назначения (General Device) – устройство, обладающее возможностями обработки данных и возможностями обмена данными с сетями связи с использованием различных технологий. Этот класс устройств включает в себя различное оборудование и приборы из разных областей применения IoT. Например, станки, смартфоны, различные бытовые электроприборы.

Шлюз (Gateway) – элемент модели IoT, осуществляющий функцию соединения устройства с сетями связи. Он выполняет необходимую трансляцию между протоколами, используемыми в сетях связи и в устройствах.

В Рекомендации МСЭ-Т Y.2067 [13] определены требования, предъявляемые к IoT-шлюзам. Эти требования могут быть разделены на три больших категории:

1) устройству шлюза необходимо поддерживать множество различных технологий для доступа к устройствам, тем самым давая устройствам

возможность взаимодействовать и обмениваться данными между собой и с сетью;

2) шлюзу необходимо поддерживать сетевые технологии и протоколы локальных и глобальных сетей;

3) шлюз должен взаимодействовать с приложениями и поддерживать функции управления сетью и безопасности.

Модель IoT от МСЭ-Т включает четыре уровня, а также связанные со всеми уровнями возможностей управления и возможностей обеспечения безопасности (рисунок 3).

Уровень приложения состоит из различных приложений IoT, взаимодействующих с устройствами.

Уровень поддержки услуг и приложений предоставляет возможности, которые необходимы приложениям. Различные приложения могут использовать общие возможности поддержки, например общую обработку данных и управление базой данных. Специализированные возможности поддержки – это конкретные возможности, которые необходимы именно данному конкретному подмножеству приложений IoT.

Уровень сети включает:

1) возможности организации сетей – предоставляет соответствующие функции управления сетевыми соединениями, такие как функции управления доступом и ресурсом транспортирования, управление мобильностью или аутентификация, авторизация и учет AAA;

2) возможности транспортировки – предназначены для предоставления соединений с целью транспортировки информации в виде данных, относящихся к услугам и приложениям IoT, а также транспортировки информации контроля и управления, относящейся к инфраструктуре IoT.

Проще говоря, возможности *уровня сети* соответствуют сетевому и транспортному уровням модели ISO/OSI.



Рисунок 3. Эталонная модель IoT MCЭ-Т [13]

Уровень устройства. Возможности уровня устройства можно логически разделить на два вида возможностей: возможности устройства и возможности шлюза.

Возможности устройства включают в себя:

- *прямое взаимодействие с сетью связи:* устройства способны собирать и закачивать информацию непосредственно (т. е. без использования возможностей шлюза) в сеть и могут непосредственно получать информацию (например, команды) из сети;
- *непрямое взаимодействие с сетью связи:* устройства способны получать и закачивать информацию в сеть с помощью возможностей шлюза, на приемной стороне устройства могут получать непрямым образом команды из сети;
- *организацию специальных сетей:* в ряде проектов, для которых требуются повышенная масштабируемость и быстрота развертывания, возможно строительство сети устройств произвольным образом;
- *спящий режим и пробуждение:* для экономии энергии устройства поддерживают механизмы ухода в спящий режим и выхода из него.

Шлюзы должны поддерживать следующие возможности:

- *поддержку нескольких интерфейсов:* шлюз должен поддерживать устройства, соединенные с использованием различных проводных и беспроводных технологий, таких как Ethernet, Bluetooth, ZigBee или Wi-Fi. На уровне сети шлюз должен уметь обмениваться данными с использованием таких технологий, как сети подвижной связи поколений 3G/4G/5G, Ethernet, xDSL.
- *преобразование протокола:* эта возможность требуется в двух случаях: когда для связи на уровне устройства используются разные протоколы (к примеру, ZigBee и Bluetooth) и когда разные протоколы применяются для связи меж-

ду устройством и сетью (например, технология ZigBee на уровне устройства и технологии 5G на уровне сети).

Возможности управления охватывают традиционные функции управления сетью, т. е. управление устройствами, управление устранением неисправностей, управление конфигурацией и топологией сети, управление учетом, управление показателями работы и управление безопасностью, управление трафиком и перегрузками.

Специализированные возможности управления определяются требованиями конкретных приложений, например требованиями по контролю линии передачи электроэнергии в «умной» электросети SmartGrid.

Возможности обеспечения безопасности включают в себя общие возможности и специализированные возможности.

Общие возможности не зависят от конкретных приложений. В Рекомендации Y.2060 приведены следующие примеры общих возможностей обеспечения безопасности на соответствующих уровнях модели:

- 1) *на уровне приложения* – авторизация, аутентификация, защита конфиденциальности, защита целостности данных приложения, антивирусная защита;
- 2) *на уровне сети* – авторизация, аутентификация, а также защита целостности данных сигнализации;
- 3) *на уровне устройства* – аутентификация, авторизация, управление доступом, проверка состояния и целостности устройства, защита и проверка целостности данных.

Специализированные возможности непосредственно связаны с требованиями конкретных приложений, к примеру, это безопасность мобильных платежей [8; 11].

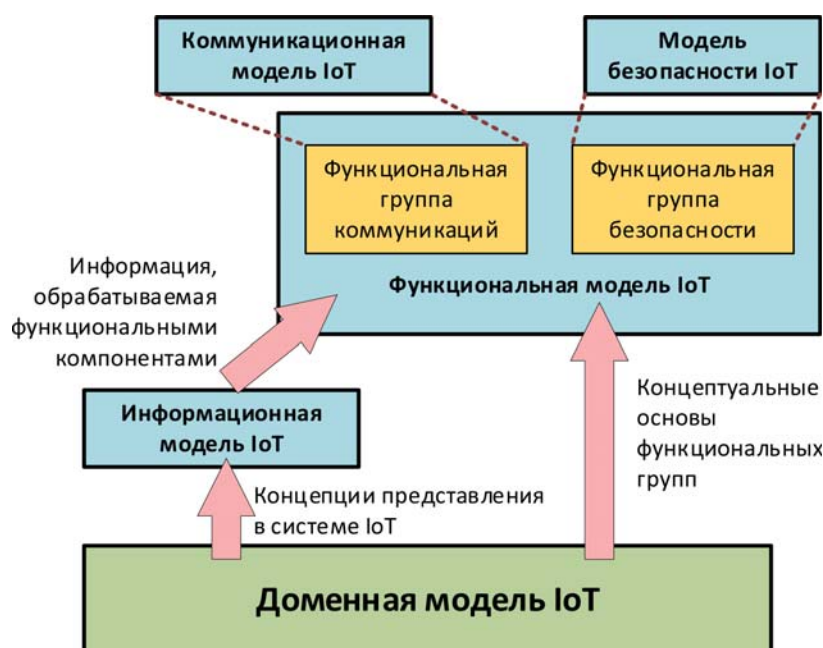


Рисунок 4. Схема модели ARM проекта IoT-A [6]

Эталонная модель IoT-A

Основной задачей Европейского проекта IoT-A (Internet of Things – Architecture) была разработка архитектурной эталонной модели ARM (Architectural Reference Model) для взаимодействия систем Интернета вещей, выработка принципов и рекомендаций по техническому проектированию его протоколов, интерфейсов и алгоритмов, что позволило бы интегрировать разнородные технологии IoT в единую взаимосвязанную архитектуру. Последняя версия модели IoT-A v3.0 была выпущена в 2013 году [6]. Участниками этого проекта являлись такие крупнейшие компании, как Siemens AG, NEC Europe Ltd., Hitachi Europe Ltd., SAP AG, IBM Research GmbH и др.

Архитектурная эталонная модель IoT состоит из нескольких моделей (рисунок 4). Стрелки на рисунке показывают, как концепции и аспекты одной модели используются в качестве основы для другой.

Основой ARM является *доменная модель IoT*, которая определяет основные концептуальные положения модели IoT, такие как устройства, службы, виртуальные сущности и пользователи, а также устанавливает отношения между этими компонентами.

На основе доменной модели была разработана *информационная модель IoT*, которая определяет структуру информации в системе на концептуальном уровне без обсуждения того, как она будет представлена.

Функциональная модель IoT (рисунок 5) определяет функциональные группы (уровни, слои), которые основаны на ключевых концепциях предметной области IoT. Совокупность соответствующих функциональных групп коммуникаций и безопасности в функциональной модели образуют *коммуникационную модель IoT* и *модель безопасности IoT* соответственно.

Функциональная модель ARM имеет некоторые отличия от эталонной модели МСЭ-Т (см. рисунок 2). Она также является иерархической, но состоит уже из семи горизонтальных уровней (функциональных групп), дополненных также двумя вертикальными слоями (управление и безопасность), которые участвуют во всех процессах.

Основные абстракции (устройства, службы, виртуальные сущности и пользователи), определенные в доменной модели IoT, располагаются на уровнях устройств, сервисов IoT, виртуальных сущностей и приложений соответственно.

Требования в отношении возможностей создания сервисов и приложений на основе IoT охватываются уровнями *управления процессами IoT* и *организации сервисов*.

Сквозной вертикальный слой *управления* требуется для управления функциональными группами и взаимодействия между ними.

Эталонная модель IWF

Комитет по архитектуре Всемирного форума Интернета вещей IWF (IoT World Forum), составленный из лидеров индустрии, включая IBM,

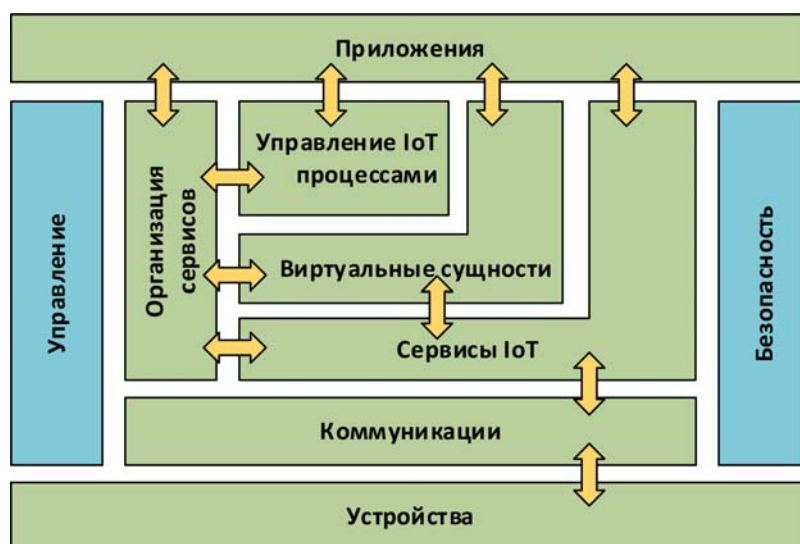


Рисунок 5. Функциональная модель ARM проекта IoT-A [6]



Рисунок 6. Эталонная модель IoT форума IWF [14]

Intel и Cisco, в 2014 года опубликовал эталонную модель IoT (рисунок 6) [14].

Эта модель является полезным дополнением к модели МСЭ-Т. Документы МСЭ-Т делают упор на уровнях устройства и шлюза, описывая верхние уровни лишь в общих чертах и уделяя наибольшее внимание определению концепции для поддержки разработки стандартов взаимодействия с устройствами IoT.

IWF в своей работе основное внимание уделил более глобальным вопросам, а именно: разработке приложений, промежуточного ПО и поддержке для нужд корпоративного сегмента Интернета вещей.

Исходя из этих целей и задач, получившаяся модель IWF отличается следующими свойствами и характеристиками [14]:

- *упрощает задачу*: помогает разделить сложные системы на части таким образом, чтобы каждая из этих частей стала более понятной;
- *проясняет структуру*: для этого предоставляет дополнительные сведения в целях более

точной идентификации уровней IoT и выработки и применения общей терминологии;

- *идентифицирует важные аспекты*: помогает определить моменты, в которых те или иные типы обработки оптимизированы в системе;

– *стандартизирует решения*: это первый шаг к тому, чтобы производители, поставщики и инсталляторы могли создавать продукты и решения IoT, способные взаимодействовать между собой;

- *организует технологию*: делает технологию IoT реальной и доступной частью жизни людей, а не далекой от конкретного человека и абстрактной концепцией.

Уровень 1 образуют физические устройства и группы устройств, управляемые одним контроллером. Он во многом соответствует уровню устройства в модели МСЭ-Т. Как и в модели МСЭ-Т, элементы на этом уровне – не физические вещи как таковые, а устройства, взаимодействующие с физическими вещами, такие как сенсорные и исполнительные устройства.

Уровень 2 модели IWF соответствует уровню сети модели МСЭ-Т. Основное отличие в том, что модель IWF относит шлюзы к уровню 2, в то время как в модели МСЭ-Т они относятся к уровню 1. Исходя из того, что шлюз является одновременно и сетевым устройством, и устройством связи, более логично его отнесение к уровню 2.

Уровень 3. В большинстве внедряемых систем IoT большие объемы данных генерируются распределенной сетью датчиков. Как правило, все эти данные долгое время хранятся в централизованном хранилище, доступном для приложений IoT. Однако часто более целесообразно выполнять большую часть обработки этих данных как можно ближе к сенсорам/датчикам. В [14] приведены следующие примеры операций на уровне периферийных вычислений:

- *анализ* данных на предмет того, необходима ли им обработка на вышележащем уровне;
- *форматирование* данных перед обработкой на вышележащих уровнях;
- *разархивирование (декодирование)* зашифрованных или сжатых данных;
- *дистилляция (сокращение)*: обработка данных для того, чтобы сократить объем данных и трафик в сети и разгрузить системы обработки на более высоких уровнях;
- *оценка* того, представляют ли данные допустимое значение или аварийный сигнал; эта задача может включать функцию перенаправления данных дополнительным получателям.

Функции устройств этого уровня соответствуют устройствам общего назначения в модели МСЭ-Т. Обычно они располагаются физически на краю сети IoT, рядом с сенсорами и другими устройствами, генерирующими данные.

Такую обработку данных на периферии называют *туманными вычислениями (Fog Computing)*. Туманные вычисления и соответствующие им службы являются характерной отличительной чертой IoT. В туманных вычислениях большое число отдельных интеллектуальных объектов осуществляют связь с туманными сетевыми структурами, которые реализуют вычисления и хранят данные рядом с периферийными устройствами в IoT.

Уровень 4. Уровень накопления данных. Данные, поступившие с различных устройств, отфильтрованные и обработанные уровнем периферийных вычислений, помещаются в хранилище, где будут доступны для более высоких уровней. Функции этого уровня сильно отличаются от низкоуровневых (туманных) и от высокоуровневых (облачных) вычислений. Отличия заключаются в

особенностях конструкции, требованиях и методах обработки данных.

Те данные, которые передаются через сеть, называют «*данными в движении*». Скорость перемещения и организация таких данных определяются генерирующими их устройствами. Для сбора и обработки таких данных требуется реакция соответствующих устройств в реальном масштабе времени на их появление или изменение.

В противовес этому у многих приложений высоких уровней нет потребности обрабатывать данные со скоростью их поступления из сети. Реально облачная сеть и прикладные платформы не могут успевать обрабатывать те объемы данных, которые генерируются огромным количеством IoT-устройств.

Приложения часто имеют дело с «*данными в покое*». Эти данные обычно располагаются в легкодоступном хранилище. Приложения могут обращаться к ним при необходимости и не в реальном времени. Как вывод – верхние уровни оперируют транзакциями, а три нижних уровня работают по событиям.

Операции, выполняемые на уровне накопления данных, включают:

- преобразование «данных в движении» в «данные в покое»;
- преобразование данных из формата сетевых пакетов в реляционные таблицы БД;
- переход от вычислений по событиям к вычислениям по запросу;
- значительное снижение объема данных за счет фильтрации и выборочного хранения.

Уровень 5. Уровень абстракции данных. Если уровень накопления данных собирает большое количество данных и помещает их в хранилище, практически не приспособивая к потребностям конкретных приложений, то уровень абстракции данных может агрегировать и форматировать такие данные способами, которые делают доступ приложений более управляемым и эффективным. Задачи данного уровня:

- комбинирование данных из различных источников;
- выполнение необходимых преобразований для обеспечения единообразной семантики данных из разных источников;
- помещение отформатированных данных в соответствующую базу данных;
- оповещение приложений более высокого уровня о том, что получены определенные данные;

6	CoAP
5	UDP
4	Ipv6
3	6LoWPAN
2	IEEE 805.15.4 MAC
1	IEEE 805.15.4 PHY

Рисунок 7. Стек протоколов IETF для IoT [9]

– консолидация данных в одном месте либо предоставление доступа к нескольким источникам данных путем виртуализации данных;

– защита данных путем соответствующей аутентификации и авторизации.

Уровень 6. Уровень приложений. На этом уровне расположены любые приложения, использующие на входе данные от системы IoT или управляющие IoT-устройствами. Эти приложения взаимодействуют с уровнем абстракции данных и используют «данные в покое». Как следствие, функционирование на скоростях сети для них не обязательно. При упрощенном режиме приложения могут миновать промежуточные уровни и напрямую взаимодействовать с уровнями 2 или 3.

Уровень 7. Уровень взаимодействия и процессов появился как результат признания того, что IoT – это технология прежде всего для людей и их пользы. На этом уровне функционируют приложения для обмена данными и управляющей информацией через Интернет или корпоративную сеть.

IWF считает свою эталонную модель IoT полезной как для производителей и поставщиков, разрабатывающих функциональные элементы, так и для заказчиков решений, помогая им выработать свои требования и условия, а также оценивать предложения поставщиков [7].

Стек протоколов IETF

Инженерный совет Интернета IETF (Internet Engineering Task Force), занимающийся развитием протоколов и архитектуры Интернета, пытается адаптировать стек протоколов TCP/IP в контексте Интернета вещей [9]. Из-за нехватки вычислительных ресурсов и неоднородности устройств и трафика были введены новые протоколы, которые заменили или адаптировали протоколы стека TCP/IP (рисунок 7).

В частности, на уровне приложений используется протокол ограниченных приложений CoAP (Constrained Application Protocol) [17], который представляет собой облегченную версию протокола передачи гипертекста HTTP, подходящий для работы с устройствами и датчиками с ограниченными ресурсами. CoAP на транспортном уровне использует протокол UDP, который по сравнению с протоколом TCP обеспечивает меньше возможностей, но более прост в обработке. CoAP определяет ретрансляцию сообщений с подтверждением и без, поддержку «спящих» устройств, передачу блоков данных, поддержку подписки и обнаружение сервисов. Наконец, в стек протоколов добавлен слой адаптации, в котором заголовки пакетов IPv6 для передачи поверх маломощных беспроводных персональных сетей 6LoWPAN [20] инкапсулируются и сжимаются, чтобы с ними могли работать устройства с небольшой вычислительной мощностью.

Другие модели IoT-систем

Справедливости ради стоит отметить, что помимо работ международных организаций над эталонными моделями IoT имеют место и другие подходы к созданию моделей IoT-систем на основе идей, отличных от классического уровневого подхода, а также для конкретной предметной области.

Например, в работе [18] представлена архитектура получения данных с сенсоров как услуга S2aaS (Sensing as a Service) – это концепция расширения возможностей существующих приложений IoT путем использования мобильных телефонов в качестве источников сенсорных данных (рисунок 8).

Современные смартфоны являются мощной и доступной платформой для множества приложений и обладают обширным массивом дат-



Рисунок 8. Архитектура S2aaS

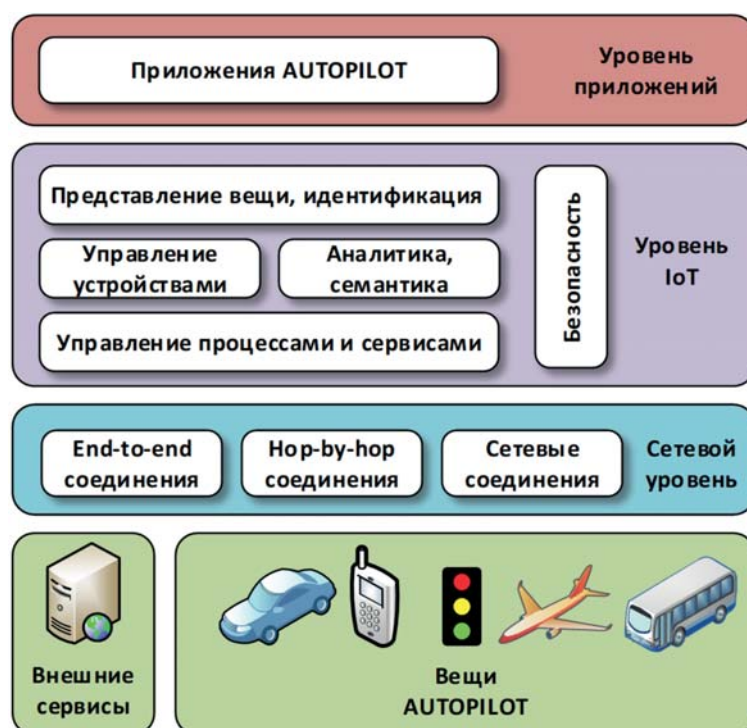


Рисунок 9. Архитектура IoT-системы в проекте AUTOPILOT

чиков, встроенных в большинство из них. При сегодняшней доступности смартфонов и плотности населения в городских районах может быть достигнута очень высокая плотность датчиков на квадратный километр [19]. Поэтому логично предположить, что передача функций сбора информации на смартфоны и организация общего доступа к ней являются разумной идеей.

Среди проблемных вопросов данной архитектуры следует отметить следующие: формат использования смартфона с участием или без участия владельца; обеспечение безопасности устройства и неприкосновенности личных данных и частной жизни; способы мотивации участников и способы распределения вознаграждения за участие в подобной сети; повышенное энерго-

потребление во время работы смартфона и износ оборудования [15].

Другая модель IoT-системы разработана в рамках исследовательского проекта по беспилотному транспорту на основе технологий Интернета вещей – AUTOPILOT (AUTOMated driving Progressed by the Internet Of Things), который проводился с 2017 по 2020 год [21]. Проект AUTOPILOT направлен на объединение опыта, знаний и технологий в области автомобилестроения и Интернета вещей для разработки IoT-архитектуры, которая выведет автоматизированное вождение на новый уровень.

Архитектура IoT-системы в проекте AUTOPILOT состоит из четырех уровней (рисунок 9): уровня вещей и внешних сервисов; сетевого

уровня; уровня IoT; уровня приложений AUTOPILOT.

Первый уровень состоит из различных объектов (беспилотного транспорта, дорожной инфраструктуры и др.). На сетевом уровне реализуются различные виды сетевых соединений. На третьем уровне располагаются различные функциональные блоки, выполняющие необходимые операции в системе IoT (управление устройствами, процессами и сервисами, аналитика, идентификация, безопасность и др.). Четвертый уровень представлен приложениями, которые будут разработаны для AUTOPILOT.

Эта структура не накладывает ограничений на физическое представление, когда блоки обработки или связи развертываются в разных местах в зависимости от потребностей. Например, блоки обработки могут быть расположены как в облаке, так и на границе.

Данная модель во многом повторяет эталонные архитектурные модели МСЭ-Т и IoT-A, отличие заключается только в использовании специфических устройств и приложений, характерных для предметной области беспилотного транспорта.

Выводы

Согласно отчету McKinsey Global Institute [12], примерно 40 % экономического эффекта от IoT приходится на способность всех устройств взаимодействовать друг с другом, другими словами, на совместимость. При ограничении совместимости потенциальная ценность IoT может снизиться и составить около \$7 трлн. В то время как реализация развитой совместимости способна поднять экономический эффект от IoT для глобальной экономики до \$11 трлн к 2025 году. Для раскрытия этого потенциала необходимо выработать и придерживаться единых стандартов на всех уровнях функционирования технологии IoT.

Проведенный анализ существующих эталонных архитектурных моделей IoT, разработанных различными международными организациями, а также применяемых в них технологий и протоколов позволяет сделать следующие выводы.

1. Все модели и стеки протоколов имеют уровневую структуру, ставшую, по сути, стандартом «де-факто» при разработке технических систем. Различаются количество уровней в каждой модели, их названия и реализуемые функции. Нижележащие уровни, отвечающие за физические устройства, во всех моделях имеют практически одинаковые функции, хотя и тут есть нюансы, к примеру отнесение шлюзов в моделях

МСЭ-Т и IWF к различным уровням, физическому и сетевому соответственно.

2. Несмотря на имеющиеся различия, во всех моделях присутствует коммуникационный уровень, некоторая сеть коммуникации, осуществляющая доставку сообщений между устройствами. Другими словами, Интернет вещей невозможен без современных сетей передачи данных [22].

3. Что касается уровней, располагающихся выше уровня сетевого взаимодействия, то тут разные модели используют различный подход. Если трехуровневая и пятиуровневая модели, а также модель МСЭ-Т дают достаточно общее описание того, что должно быть на этих уровнях и мало уделяют внимания тому, как это должно функционировать, то модель IWF и стек протоколов IETF включают конкретные рекомендации и технологии. Этот факт, наверное, и не вызывает удивления, по той причине, что в работе форума IWF и группы IETF участвуют разработчики решений, производители оборудования и операторы, которым необходимо по этим стандартам осуществлять промышленное производство, установку и эксплуатацию оборудования и программного обеспечения IoT.

4. Следует особо отметить, что функции управления и безопасности явным или неявным образом пронизывают большинство уровней во всех эталонных моделях. В некоторых из них, например в моделях МСЭ-Т и IoT-A, эти функции непосредственно выделены в отдельные вертикальные уровни, взаимодействующие со всеми горизонтальными уровнями моделей.

В целом можно отметить, что, хотя эти подходы пока еще далеки от единства и совершенства, рассмотренные архитектурные модели являются полезным базисом для дальнейших усилий по стандартизации Интернета вещей, которая продолжается в мире и в России [3–5].

Литература

1. Интернет вещей / А.В. Росляков [и др.]. Самара: ООО «Издательство Ас Гард», 2014. 342 с.
2. Abdmeziem M.R., Tandjaoui D., Romdhani I. Architecting the Internet of Things: State of the art // *Robots and Sensor Clouds*. 2016. P. 55–75.
3. Стандартизация Интернета вещей / А.В. Росляков [и др.] // *Электросвязь*. 2013. № 8. С. 10–13.
4. Росляков А.В. Стандартизация интернета вещей в России // *Стандарты и качество*. 2020. № 7. С. 18–23.

5. Росляков А.В. Национальные стандарты Интернета вещей // Вестник связи. 2020. № 7. С. 29–32.
6. Internet of Things – Architecture. Final architectural reference model for the IoT v3.0. 2013. 482 p.
7. Stallings W. The Internet of Things: Network and security architecture // The Internet Protocol Journal. 2015. Vol. 18, no. 4. P. 2–24.
8. Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications / A.I. Al-Fuqaha [et al.] // IEEE Communications Surveys and Tutorials. 2015. P. 2347–2376.
9. Lombardi M., Pascale F., Santaniello D. Internet of Things: A general overview between architectures, protocols and applications // Information. 2021. Vol. 12, no. 87. P. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.3390/info12020087>
10. IoT middleware: A survey on issues and enabling technologies / A. Ngu [et al.] // IEEE Internet of Things Journal. 2017. Vol. 4, no. 1. P. 1–20.
11. ITU-T. Recommendation Y.2060. Overview of the Internet of Things. 2012. 14 p.
12. The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype // McKinsey Global Institute. URL: <https://s3.amazonaws.com/midokura-marketing-materials/IIOT/McKinsey-Mapping-the-value-beyond-the-hype.pdf> (дата обращения: 23.10.2021).
13. ITU-T. Recommendation Y.4101/Y.2067. Global information infrastructure, Internet protocol aspect, next-generation networks, Internet of things and smart cities, 2017. 18 p.
14. Cisco Systems. The Internet of Things Reference Model, White Paper. 2014. 12 p.
15. Crowdsourcing to smartphones: incentive mechanism design for mobile phone sensing / D. Yang [et al.] // Mobicom'12: Proceedings of the 18th annual international conference on Mobile computing and networking. 2012. P. 173–184. DOI: <https://doi.org/10.1145/2348543.2348568>
16. Sensing as a service model for smart cities supported by Internet of Things / C. Perera [et al.] // Transactions on Emerging Telecommunications Technologies. 2014. Vol. 25, no. 1. P. 81–93.
17. IETF. RFC 7252. The Constrained Application Protocol (CoAP), 2014. 111 p.
18. Sensing as a service: Challenges, solutions and future directions / X. Sheng [et al.] // IEEE Sensors Journal. 2013. Vol. 13, no. 10. P. 3733–3741.
19. Cloud of things for sensing-as-a-service: Architecture, algorithms, and use case / S. Abdelwahab [et al.] // IEEE Internet of Things Journal. 2016. Vol. 3, no. 6. P. 1099–1112.
20. IETF. RFC 7252. Transmission of IPv6 packets over IEEE 802.15.4 networks, 2007. 112 p.
21. AUTOMated driving Progressed by Internet of Things. Initial specification of Communication System for IoT-enhanced AD. 2017. 140 p.
22. Трошин А.В. Методы машинного обучения для распознавания человеческой активности с использованием датчиков окружающей среды // Инфокоммуникационные технологии. 2021. Т. 19, № 1. С. 91–100.
23. Гребешков А.Ю., Дараев Д.М. Разработка интеллектуального сенсорного узла на базе технологии LoRa // Инфокоммуникационные технологии. 2021. Т. 19, № 2. С. 179–186.

Получено 08.11.2021

Росляков Александр Владимирович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой сетей и систем связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. 443010, Российская Федерация, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23. Тел. +7 846 333-69-25. E-mail: arosl@mail.ru

Кирьяков Андрей Александрович, инженер электросвязи ООО «Газпром трансгаз Самара». 443100, Российская Федерация, г. Самара, ул. Невская, 3. Тел. +7 927 694-26-80. E-mail: andrey.a.kiryakov@gmail.com

INTERNET OF THINGS: OVERVIEW OF REFERENCE ARCHITECTURAL MODELS

Roslyakov A.V.¹, Kiryakov A.A.²

¹ *Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation*

² *Gazprom Transgaz Samara Limited Liability Company, Samara, Russian Federation*

E-mail: arosl@mail.ru

For the Internet of Things to function, it must connect billions or trillions of different objects over the Internet and other networks using different protocols and technologies. Thus, there is

a critical need for a universal, flexible and multi-layered architecture. Currently, there is no single architectural reference model. Its creation is not an easy task despite many standardization efforts. The main challenge in creating an architectural reference model is the natural fragmentation of possible applications for IoT technologies. Each of the applications depends on many variables and requirements for the design characteristics and the wishes of the customer, and they often differ dramatically. In addition, there is another problem connected with the tendency of each supplier or manufacturer to offer their platform and solutions for similar applications of IoT technology. This article analyzes several approaches to creating reference architecture models that may prove useful in the ongoing standardization process for IoT technologies.

Keywords: *Internet of Things, architectural reference model, IoT three-tier model, IoT five-tier model, ITU-T reference model, IoT-A reference model, IWF reference model, IETF protocol stack*

DOI: 10.18469/ikt.2021.19.4.01

Roslyakov Alexander Vladimirovich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L. Tolstoy Street, Samara, 443010, Russian Federation; the Head of Networks and Communication Systems Department, Doctor of Technical Sciences, Professor. Tel. +7 846 333-69-25. E-mail: arosl@mail.ru

Kiryakov Andrey Aleksandrovich, Gazprom Transgaz Samara LLC, 3, Nevskaya Street, Samara, 443100, Russian Federation; Telecommunication Engineer. Tel. +7 927 694-26-80. E-mail: andrey.a.kiryakov@gmail.com

References

1. Roslyakov A.V. et al. *Internet of Things*. Samara: ООО «Izdatel'stvo As Gard», 2014, 342 p. (In Russ.)
2. Abdmeziem M.R., Tandjaoui D., Romdhani I. Architecting the Internet of Things: State of the art. *Robots and Senor Clouds*, 2016, pp. 55–75.
3. Roslyakov A.V. et al. Standardization of the Internet of Things. *Elektrosyjaz'*, 2013, no. 8, pp. 10–13. (In Russ.)
4. Roslyakov A.V. Standardization of the Internet of things in Russia. *Standarty i kachestvo*, 2020, no. 7, pp. 18–23. (In Russ.)
5. Roslyakov A.V. National Internet of Things standards. *Vestnik svyazi*, 2020, no. 7, pp. 29–32. (In Russ.)
6. Internet of Things – Architecture. Final architectural reference model for the IoT v3.0. 2013. 482 p.
7. Stallings W. The Internet of Things: Network and security architecture. *The Internet Protocol Journal*, 2015, vol. 18, no. 4, pp. 2–24.
8. Al-Fuqaha A.I. et al. Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 2015, pp. 2347–2376.
9. Lombardi M., Pascale F., Santaniello D. Internet of Things: A general overview between architectures, protocols and applications. *Information*, 2021, vol. 12, no. 87, pp. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.3390/info12020087>
10. Ngu A. et al. IoT middleware: A survey on issues and enabling technologies. *IEEE Internet of Things Journal*, 2017, vol. 4, no. 1, pp. 1–20.
11. ITU-T. Recommendation Y.2060. Overview of the Internet of Things. 2012. 14 p.
12. The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype. McKinsey Global Institute. URL: <https://s3.amazonaws.com/midokura-marketing-materials/IIOT/McKinsey-Mapping-the-value-beyond-the-hype.pdf> (access date: 23.10.2021).
13. ITU-T. Recommendation Y.4101/Y.2067. Global information infrastructure, Internet protocol aspect, next-generation networks, Internet of things and smart cities, 2017. 18 p.

14. Cisco Systems. The Internet of Things Reference Model, White Paper. 2014. 12 p.
15. Yang D. et al. Crowdsourcing to smartphones: incentive mechanism design for mobile phone sensing. *Mobicom'12: Proceedings of the 18th annual international conference on Mobile computing and networking*, 2012, pp. 173–184. DOI: <https://doi.org/10.1145/2348543.2348568>
16. Perera C. et al. Sensing as a service model for smart cities supported by Internet of Things. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 2014, vol. 25, no. 1, pp. 81–93.
17. IETF. RFC 7252. The Constrained Application Protocol (CoAP), 2014. 111 p.
18. Sheng X. et al. Sensing as a service: Challenges, solutions and future directions. *IEEE Sensors Journal*, 2013, vol. 13, no. 10, pp. 3733–3741.
19. Abdelwahab S. et al. Cloud of things for sensing-as-a-service: Architecture, algorithms, and use case. *IEEE Internet of Things Journal*, 2016, vol. 3, no. 6, pp. 1099–1112.
20. IETF. RFC 7252. Transmission of IPv6 packets over IEEE 802.15.4 networks, 2007. 112 p.
21. AUTOMated driving Progressed by Internet of Things. Initial specification of Communication System for IoT-enhanced AD. 2017. 140 p.
22. Troshin A.V. Machine learning methods for human activity recognition using environmental sensors. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2021, vol. 19, no. 1, pp. 91–100. (In Russ.)
23. Grebeshkov A.Yu., Daraev D.M. Development of an intelligent sensor node based on LoRa technology. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2021, vol. 19, no. 2, pp. 179–186. (In Russ.)

Received 08.11.2021

УДК 654.078

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛОВ СВЯЗИ НА КАЧЕСТВО ВИДЕО-КОНФЕРЕНЦ-СВЯЗИ

Ермакова Н.Н.¹, Тюхтяев Д.А.¹, Семенов Е.С.¹, Осипов О.В.²

¹ Волгоградский государственный университет, Волгоград, РФ

² Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: ermakova.nadezhda@volsu.ru

2020 год стал переломным моментом не только в повседневной жизни, но и на рынке коммуникаций. Существенно поменялось мнение об отрасли видео-конференц-связи, без которой не смогли бы сейчас проходить совещания, заседания, онлайн-обучение, консультации, консилиумы и многое другое. В связи с этим растут потребности в более качественном предоставлении данных услуг – совершенствуется оборудование для передачи информации, увеличиваются объемы ресурсов, повышаются требования к защите информации и доступу к персональным данным. Можно утверждать, что перспективы видео-конференц-связи очевидны, важны и актуальны. Говоря об исследовании в этой области, влияние технических характеристик в сети передачи данных на качество предоставляемых услуг является важной задачей при предоставлении данного вида решений. Снижение показателей параметров каналов связи приводит к деградации видео и звуковой дорожки, а также различным негативным эффектам. К таким эффектам можно отнести отставания звуковой дорожки от видеоряда, а также ее заикание, снижение качества видеоряда или его полную потерю на определенное время.

Ключевые слова: видео-конференц-связь, удаленная работа, облачный сервис, канал связи, джиттер, задержка, искажения, метрика PSNR, метод субъективной и объективной оценок

Введение

В исследовании проводилась сравнительная характеристика нескольких решений видео-конференц-связи (ВКС). Среди них платформы – Zoom Room, Skype, TrueConf Server, Microsoft Teams Room, Cisco Webex Meetings. В ходе рабо-

ты построена модель ВКС-платформы TrueConf Server, выбранная для эксперимента по таким техническим параметрам, как: стабильность передачи данных, защита данных, простота в установке, возможность работы через web-приложение, популярность, ценовая характеристика. Кроме того, TrueConf Server является представителем ВКС-