

СЕТИ СВЯЗИ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ: НА ПУТИ К СЕТЯМ 2030

А. Н. Волков*, **А. С. А. Мутханна**, **А. Е. Кучерявый**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

*Адрес для переписки: artemanv.work@gmail.com

Аннотация—В сетях связи 2030 предполагается, что такие критерии, как безопасность, конфиденциальность, высокая скорость передачи данных при ультра-плотных сетях будут ключевыми характеристиками, и им должно быть уделено особое внимание со стороны исследовательского сообщества в области беспроводных технологий. Сети 2030 предназначены для обеспечения скоростей терабит в секунду, которые, как предполагается, будут достигнуты с использованием ряда передовых технологий, таких как MEC, FoG, mmWave, новые радио, программно-конфигурируемые сети и искусственный интеллект в сетях. Для этого необходимо решить несколько важных аспектов, чтобы обеспечить качество обслуживания для новых сервисов, прежде всего, обеспечить плотность покрытия сети даже в малонаселенных районах. В статье проводится анализ развития сетей связи пятого поколения 5G/IMT-2020 и основные фундаментальные изменения в развитии сетей связи 2030.

Ключевые слова—Сети связи пятого поколения, Интернет Вещей, Сети 2030, новые услуги, требования к качеству обслуживания, тренды.

Информация о статье

УДК 621.391

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 13.05.20, принята к печати 15.06.20.

Ссылка для цитирования: Волков А. Н., Мутханна А. С. А., Кучерявый А. Е. Сети связи пятого поколения: на пути к сетям 2030 // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 2. С. 32–43. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-2-32-43.

FIFTH GENERATION COMMUNICATION NETWORKS: ON THE WAY TO NETWORKS 2030

A. Volkov*, A. Muthanna, A. Koucheryavy

The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

*Corresponding author: artemanv.work@gmail.com

Abstract—In 2030 networks, it is assumed that criteria such as security, confidentiality, and high data transfer rate with ultra-dense networks will be the key characteristics of 2030 networks, and it should be given special attention from the research community in the field of wireless technologies. The networks 2030 are designed to provide terabits per second, which are expected to be achieved using a number of advanced technologies, such as MEC, FoG, mmWave, new radio, Software-defined networking and Artificial intelligence in networks. It is necessary to solve several important aspects in order to ensure the quality of service for the new services, first, to ensure the density of network coverage even in sparsely populated areas. The article analyzes the development of fifth generation communication networks 5G/IMT-2020 and the main fundamental changes in the development of communication networks 2030.

Keywords—Fifth generation communication networks, Internet of Things, Networks 2030, New Services, Requirements to quality of service, trends.

Article info

Article in Russian.

Received 13.05.20, accepted 15.06.20.

For citation: Volkov A., Muthanna A., Koucheryavy A.: Fifth generation communication networks: on the way to networks 2030 // Telecom IT. 2020. Vol. 8. Iss. 2. pp. 32–43 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-2-32-43.

Введение

В современном мире новые технологии и даже целые отрасли промышленности появляются и исчезают с невероятной, и все возрастающей скоростью (вспомним закон Мура). И наоборот, те отрасли промышленности и жизнедеятельности человека, которые бурно развивались всего несколько десятилетий назад, сегодня уже потеряли свою актуальность и постепенно уходят в прошлое. Мир инфокоммуникационных технологий одной ногой стоит уже в сетях следующего (пятого) поколения, инфраструктура, предлагаемые услуги и приложения которой, порой реализуют утопические идеи, предложенные фантастами буквально последних 10–15 лет, не говоря уже о более ранних идеях [1].

В данной статье отражен анализ развития сетей связи пятого поколения (в аббревиатуре – 5G/IMT-2020), с точки зрения международной стандартизации, которая в себя включает технологические новшества, как в инфраструктурных составляющих, так и услугах. Кроме того, учитывая бурный рост и реализацию большинства (но не всех) поставленных задач перед сетями пятого

поколения, в данной статье обращено внимание на концепцию сетей связи следующего поколения – сетей 2030, которые должны будут завершить неразрешенные задачи в поколении IMT-2020, в том числе задать направлению дальнейшему развитию.

Сети связи пятого поколения

В 2020 году ожидается начало новой эры в телекоммуникациях – сетей связи пятого поколения 5G. Ожидается, что сети 5G дадут возможность эффективно и экономично запускать множество новых услуг. Сети 5G должны создать экосистему для технических и бизнес-инноваций [1]. Стоит отметить, что обозначение «5G», обычно отображающее технологический этап мобильных сетей, в данном моменте на международном уровне де-факто отражает новую эру сетей связи и сервисов в целом. Аббревиатура 5G дается обычно консорциумом 3GPP (3rd Generation Partnership Project), однако в данном случае, учитывая множество факторов (тенденцию развития технологий, появляющуюся потребность в новых сервисах и другие), мировое сообщество новому поколению сетей связи дало аббревиатуру 5G/IMT-2020, где аббревиатуру IMT-2020 закрепил Международный Союз Электросвязи (МСЭ). На основании множества к данному времени международных рекомендаций и стандартов можно сделать вывод, что концепция сетей связи IMT-2020 или иначе сетей связи пятого поколения, включает в себя целый комплекс концепций и технологий, а не только описывает принципы и технологии организации мобильной сети доступа [1]. На данный момент в МСЭ-Т существует несколько исследовательских групп (ИК), работа которых полностью посвящена разрешению вопросов стандартизации в области технологий инфраструктуры и сервисов 5G/IMT-2020. Одной из таких групп является 13 ИК, целью работы которой является выработка основных рекомендаций, утверждающих определения, термины, архитектуры и используемые технологические решения, при построении инфраструктуры сетей связи пятого поколения.

На момент 2020 года, намечено завершение стандартизации сетей связи и систем пятого поколения 5G/IMT-2020, и также их широкого внедрения на сетях связи. Сети 5G/IMT-2020 призваны интегрировать в себе все достижения мобильных и фиксированных сетей связи, обеспечить скорость передачи данных в 10 Гб/с и выше, а также приблизить возможности новых структур облачных вычислений (FoG – туманные и MEC – пограничные) непосредственно к пользователю. Сети связи пятого поколения являются гетерогенными, т. е. объединяющими в себе множество различных сетей: от традиционных фиксированных сетей связи общего пользования и мобильных, до летающих и сенсорных сетей [2]. Стоит отметить, что в англоязычной литературе такие сети получил название HetNet (*Heterogeneous Networks*) [2]. Изначально, свойство гетерогенности было подмечено при исследовании взаимодействия систем длительной эволюции (LTE) и сенсорных сетей. При этом получилось, что гетерогенность может быть использована для улучшения качества обслуживания пользователей или устройств, которые находятся, например, на границе зоны обслуживания базовой станции. То привело к новому направлению исследований, а именно, изучению преобразования радиального принцип построения зоны покрытия базовой станции в структуры ячеистых сетей (англ. *Mesh*). Стоит также отметить, что очевидным

свойством такого типа сетей является их более надежная структура, чем радиальная сеть. Основной особенностью сетей пятого поколения, обязаны появлению концепции Интернета Вещей [3]. Данная особенность связана с принципиально иным числом потенциальных вещей, которые могут быть подключены к сети связи и быть однозначно в ней идентифицируемы, по сравнению с традиционными представлениями об объеме баз устройств в сети. В соответствии с известными прогнозом, [4] предельное число Интернет Вещей рассматривается на уровне 50 триллионов. Такое количество подключенных устройств подразумевает высокую плотность на единицу пространства. Поэтому, сети 5G называют сетями с высокой плотностью – сверхплотными сетями (*Super High Dense*) [3]. При этом, в данных условиях появляются новые архитектурные подходы по организации взаимодействия, а именно – D2D (*Device-to-Device*).

В рамках появления концепции Интернет Вещей, появляется новое направление услуг, основанное на передачи тактильных ощущений, которое получило название – Тактильный Интернет, требования по задержкам для которых составляет 1мс, что в 100 раз меньше, чем для традиционных пакетных сетей связи общего пользования, построенных в соответствии с концепцией сетей связи следующего поколения NGN (*Next Generation Networks*). После выдвижения вышеприведенных сетевых требований, к этой особенности сетей пятого поколения было «приковано» все научное международное сообщество. Данному направлению сетей связи пятого поколения было присвоено имя – «Сети связи с ультранизкими задержками». Однако, на основе многих научных исследований, сообщество пришло к выводу, что на данный момент развития элементной и технологической базы, таких показателей сложно достичь для предоставления подобного типа услуг наравне с другими. Однако, данное направление исследований продолжает свое развитие и плавно переходит к следующему поколению сетей, описание которого Международный Союз Электросвязи уже дал в своем документе, летом 2018 года, а именно – сетей связи 2030.

Таки образом, можно сделать вывод, что сети связи пятого поколения сделали огромный рывок как на сервисном уровне (формирующем стек предоставляемых услуг), так и на инфраструктурном уровне.

Сети связи пятого поколения. Интернет Вещей

Концепция Интернета Вещей, лидирующая сегодня в области сетей и систем связи, провела к появлению сетей связи 5G, и к созданию сверхплотных сетей связи [2, 5]. Сверхплотность является одним из признаков не только сетей 5G/IMT-2020, но и всех последующих. Действительно, требование 3GPP по обеспечению необходимого уровня качества обслуживания и восприятия при размещении 1 млн терминалов на 1 км² принципиально отличается от характеристик плотных сетей, существующих до настоящего времени. В соответствии с прогнозами предельное число Интернет вещей составляет 50 трлн¹, что может быть достигнуто в районе 2030 года. В сверхплотной сети существенное значение при построении сетевой архитектуры играет кластеризация, применимая во многих задачах по анализу и синтезу в условиях наличия большого и очень большого числа элементов системы [3].

¹ 5G PPP Architecture Working Group white paper, "View on 5G Architecture," July 2016.

Интернет Вещей проявляется не только в новом качестве сетей связи – сверхплотности, но и приносит широкий спектр решений и услуг, которые до этого не были доступны. Согласно терминологии Международного Союза Электросвязи, Интернет Вещей (IoT – *Internet of Things*) – это глобальная инфраструктура для информационного общества, которая обеспечивает возможность предоставления более сложных услуг путем соединения друг с другом физических или виртуальных вещей на основе существующих и развивающихся функционально совместимых информационно-коммуникационных технологий [6]. Благодаря задействованию возможностей идентификации, сбора, обработки и передачи данных, в Интернете Вещей обеспечивается наиболее эффективное использование вещей для предоставления услуг для всех типов приложений при одновременном выполнении требований безопасности и неприкосновенности частной жизни [6]. Таким образом, уже не только в теории, но и на практике в текущее время – Интернет Вещей плотно интегрируется во все сферы деятельности человека. При этом, как сказано в примечании к определению IoT [6] благодаря «оцифровке» вещей и формирования их так называемого цифрового отображения в сети связи обеспечивается возможность предоставления новых услуг связи. Интернет Вещей и его приложения полным ходом внедряются в такие области, как: автоматизация и интеллектуализация зданий, интеграция с существующими АСУ ТП и развитие новых платформ для индустрии, транспортная и складская логистика, транспортные сети, сельское хозяйство, различные сети датчиков военного назначения, контроль за популяцией животных, медицинские сети, и т. д. Кроме этого, объединение нескольких систем и сетей Интернета Вещей образуют определенного вида комплексные решения, ценность и миссия которых более глобальна и полезна для человека и общества в целом. Например, такие решения, как: Умный дом, Умный город, беспилотный транспорт и так далее. Развитие концепции Интернета Вещей с ее самого начала привело к разработке более новых, ранее не осмысливаемых концепциях и технологиях, например: интернет навыков, летающие сети, аватары и т. д.

Интернет Вещей основывается на трех базовых принципах. Во-первых, повсеместную распространенную коммуникационную инфраструктуру. Во-вторых, глобальную однозначную идентификацию каждого объекта и в-третьих, возможность каждого объекта отправлять и получать данные посредством персональной сети или сети Интернет, в которой он подключен [4].

Наиболее важными отличиями Интернета Вещей от существующего Интернета людей являются [4]:

- фокус на вещах, а не на человеке;
- существенно большое число подключенных объектов (объекты обладают малыми габаритами и невысокими скоростями передачи данных);
- фокус на считывание информации, а не на коммуникациях;
- необходимость создания новой инфраструктуры и альтернативных стандартов.

Можно сформулировать следующий тезис: концепция IoT включает в себя возможность связи в любое время, в любом месте и коммуникацию любых устройств и вещей.

В соответствии с той же рекомендацией ITU-T Y.2060², вещи могут быть как физическими так и виртуальными. Виртуальные вещи – вещи, существующие в виртуальном мире, в то время как физические вещи находятся в физическом мире. В соответствии с рекомендацией для того, чтобы объект физического или информационного мира мог быть отнесен к IoT вещи, необходимо данный объект идентифицировать и интегрировать в сети связи [4].

Составной частью Интернета Вещей является Веб вещей (*WEB of Things, WoT*), определен в рекомендации ITU-T Y.2063³, который обеспечивает взаимодействие различных интеллектуальных объектов («вещей») с использованием стандартов и механизмов Интернет. Для этого используются, например; унифицированный (единообразный) идентификатор ресурса URI (*Uniform Resource Identifier*), протокол передачи гипертекста HTTP (*HyperText Transfer Protocol*), соответственно использование REST и других стилей построения и организации взаимодействия. Фактически WoT предусматривает реализацию концепции IoT на прикладном уровне с использованием уже существующих архитектурных решений, ориентированных на принцип разработки WEB-приложений [4].

Концепция Интернета Вещей существенно расширяет область применения сетей связи и соответственно предоставляемые услуги. Появляются новые типы сетей, так называемые всепроникающие сенсорные сети USN (*Ubiquitous Sensor Networks*), сети для транспортных средств VANET (*Vehicular Ad Hoc Networks*), медицинские нателные сети MBAN (*Medical Body Area Networks*), летающие сенсорные сети и др. Следует учесть, что на данный момент развития и воплощения в жизнь Интернет вещей (физических) опережает развитие сетей для Интернет вещей информационного мира в силу того, что например, такие сети как USN и VANET были разработаны и проработаны раньше, чем возникла идея всеобъемлющего Интернета Вещей и находятся уже в стадии внедрения. Поэтому, для подобного типа сетей широкое распространение получило название сетей межмашинного взаимодействия или иначе машина-машина M2M (*Machine-to-Machine*), которое как раз и охватывает объекты физического мира концепции Интернета Вещей [5].

Стоит отметить тот факт, что в профессиональной сфере существует «путаница» определений. Как уже выше было определено, Концепция «Интернет Вещей» породила изменения во всех сферах человеческой жизнедеятельности и таким образом, системы, которые так или иначе реализуют технологии IoT, называют: «Умными», «Интеллектуальными». Однако стоит заметить, что «умность» вещам придает не наличие набора датчиков или актуаторов, а та информационная система, которая имеет возможность обработать огромное количество данных, провести анализ и сформировать те или иные управляющие воздействия. Процессы, направленные на обработку данных с огромного количества устройств, учитывающие факторы и особенности, такие, как эмерджентность сложных систем, строятся на таких алгоритмах обработки, как Big Data (Больших Данных) и Machine Learning (машинного обучения). Данные алгоритмы, в особенности алгоритмы машинного обучения, выводят информационные системы на уровень «интеллектуального» принятия решений. Кроме того, в Международном Союзе Электросвязи 2 года назад была создана специальная рабочая группа

² Recommendation Y.2060/Y.4000. Overview of Internet of Things. IYU-T, Geneva. February 2012.

³ Recommendation Y.2063. Framework of the web of things. IYU-T, Geneva. July 2012.

по созданию Искусственного Интеллекта на сетях связи. Так как учитывая резкий рост в технологиях, требований по их реализации и обслуживанию, необходим следующий уровень оперативности принятия решений и управлению сетями связи, в том числе возможности быстрого и точного прогнозирования любого протекающего процесса (начиная от потока, заканчивая цифровой моделью операторской сети). В данном случае, те архитектурные технологии построения сетей, как SDN/NFV⁴, являются «инструментом» для будущего Искусственного Интеллекта [7, 8] в сетях также, как и набор датчиков/актуаторов в концепции Интернета Вещей.

Сети связи пятого поколения. Сетевая инфраструктура

Как уже ранее отмечалось, концепция 5G/IMT-2020 или иначе сетей пятого поколения включает в себя целый комплекс концепций и технологий, а не только описывает принципы организации сети мобильного доступа. На данный момент, в МСЭ-Т (Т – это сектор стандартизации телекоммуникаций) существует 13 SG исследовательская комиссия, целью работы которой является – выработка основных рекомендаций, утверждающих определения, термины, архитектуры и используемые технологические решения при построении сетей пятого поколения. Также 11 Исследовательская группа является ведущей исследовательской группой сектора стандартизации МСЭ по сигнализации и протоколам. Изучение требований к сигнализации и протоколам управления сетевыми ресурсами в 11 Исследовательской группе расширился до новых областей исследования и стандартизации ITU-T, таких как: SDN и NFV, так как считается, что именно решения SDN [9] и NFV смогут удовлетворить поставленные жесточайшие требования к сетям пятого поколения 5G/IMT-2020 и их новым услуг, таких как: Тактильный Интернет, e-Health и другие. Однако рекомендация об использовании концепции Программируемых сетей в сетях 5G/IMT-2020 была изначально предложена в рекомендации ITU-R M.2083-0⁵ в пункте 2.3.2. Сетевые технологии – «Для IMT-систем будущего потребуются более гибкие сетевые узлы, настраиваемые на основе организации сетей с программируемыми параметрами (SDN), а также архитектуры и виртуализации сетевых функций (NFV) в целях оптимальной обработки функции узлов и повышения эксплуатационной эффективности сетей». Согласно рекомендации ITU Y.3100 “Terms and definitions for IMT-2020 network” от сентября 2017 года, IMT-2020 (на основе [ITU-R M.2083-0]) – это системы, системные компоненты и связанные с ними аспекты, которые поддерживают предоставление гораздо более расширенных возможностей, чем те, которые описаны в рекомендации (ITU-R M.1645 – “Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000”) [10]. В рекомендации ITU-R M.2083-0 (IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond) от сентября 2015 отображены те расширенные возможности, которые предоставляют сети IMT-2020. Согласно той же рекомендации, ITU-R M.2083-0, сети IMT-2020 служат средством

⁴ Recommendation Y.3300 Framework of software-defined networking, Geneva. June 2014.

⁵ Recommendation M.2083-0 IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond. ITU-R, Geneva. 2015.

коммуникации для людей и машин, помогают в развитии других отраслей промышленности, таких как: медицина, транспорт (логистика), образование, индустрия и другие [10]. Учитывая тенденции развития технологий ИКТ, сети ИМТ-2020 должны внести свой вклад в следующее:

- *Беспроводная инфраструктура* для подключения к сети: широкополосная связь приобретает тот же уровень важности, как и доступ к электроэнергии;
- *Новый рынок ИКТ*: Развитие будущих ИКТ (информационно-коммуникационных) систем будет способствовать появлению интегрированной индустрии, которая в свою очередь станет движущей силой для экономики услуг;
- *Преодоление цифрового разрыва*: ИМТ-2020 должны продолжать также развиваться в сторону устранения «цифрового разрыва», предоставления современных и будущих услуг связи в любой точке мира, где есть подключение;
- *Новые способы коммуникации*: ИМТ-2020 должны предоставить связь в «в любое время», «в любом месте», «с любого устройства». Пользователи будут генерировать больше контента и делиться данным контентом, не ограничиваясь временем и местоположением;
- *Новые формы обучения*: ИМТ-2020 может изменить подходы (методы) обучения, предоставляя легкий доступ к цифровым учебникам или облачным хранилищам знаний в Интернете (электронное обучение, электронное здравоохранение, электронная коммерция и так далее);
- *Повышение энергоэффективности*: ИМТ-2020 реализует новые типы связи, такие как М2М (межмашинные коммуникации), которые позволят предоставить новые типы услуг для оптимизации производственных процессов;
- *Социальные изменения*: ИМТ-2020 является одним из базовых движущих сил перехода к постиндустриальному (информационному) обществу;
- и другие (ITU-R M.2083-0).

Ключевыми принципами проектирования сети ИМТ-2020 являются гибкость, масштабируемость и разнообразие услуг. Следующие восемь параметров считаются ключевыми возможностями ИМТ-2020:

- *Пиковая скорость для пользователя*: Максимальная достижимая скорость передачи данных в идеальных условиях для каждого пользователя устройства в Гбит/с;
- *Задержка*: Должна быть обеспечена минимальная задержка (например, для Тактильного Интернета – не более 1 мс);
- *Мобильность*: Должно быть обеспечено выполнение требований QoS при высокой скорости передвижения объекта/пользователя^{6,7}.
- *Высокая плотность подключенных устройств*;
- *Энергоэффективность*: Как на стороне пользователя, так и на стороне оператора;
- *Площадь пропускной способности*: Пиковая пропускная способность сети на единицу пространства, то есть Mbit/s/m². ИМТ-2020 предполагает реализацию Интернета Вещей, что поспособствует увеличению количества подключенных устройств на единицу пространства и соответственно нагрузка на аппаратуру сетевой инфраструктуры будет увеличена в несколько раз.

⁶ Huawei's Global Industry Vision (Отчет GIV 2025).

⁷ 3GPP TR 38.913. V14.2.0. Study on scenarios and requirements for next generation access technologies. February, 2016.

Можно сделать вывод, что в данный момент ведется еще активная работа по стандартизации в области сетевой инфраструктуры сетей пятого поколения 5G/IMT-2020, в этой работе принимают несколько Исследовательских комиссий и международных стандартизирующих организаций, таких как: МСЭ, ISO/IEC, и другие. Однако, данная работа плавно перетекает на стандартизацию сетей следующего поколения – сетей 2030. В основу сетевой инфраструктуры, как уже выше было отображено, кладутся технологии программируемых сетей и виртуализации сетевых функций, которые в свою очередь благодаря своим архитектурным решениям позволят реализовать соответствующие поставленные требования качества услуг и сервисов сетей пятого поколения.

Стоит отметить, что на момент 2020 года, вышеуказанные инфраструктурные сетевые технологии, которые призваны обеспечить выполнение поставленных перед сетями 5G/IMT-2020 требований, широко внедряются в ЦОДах (сервис-операторов), а также в виде пилотных проектов телеком-операторов. Также есть практические реализации внедрения в корпоративные, внутренние сети распределенных офисов, в данном случае SD-WAN.

На пути к сетям связи 2030

На момент 2020 еще не до конца завершены работы по стандартизации сетей связи пятого поколения IMT-2020. Однако, в Секторе Стандартизации Телекоммуникаций Международного Союза Электросвязи была создана специальная рабочая группа по исследованию и последующей стандартизации поколения сетей связи 2030, которая должна определить основные характеристики и направления стандартизации сетей. Стоит отметить, что чтобы заглянуть в 2030 год, необходимо, проанализировать основные тенденции в развитии сетей связи, которые проявились сегодня при работах над концепцией и в процессе начала реализации сетей 5G/IMT-2020. Например, как уже было выше отмечено одно их направлений – Тактильный Интернет (ТИ), по ряду технических причин, нуждается в глубоком исследовании и доработке, до того, как ТИ станет в один ряд с другими услугами. Напомним, что для ТИ были выдвинуты требования по задержке, которая не должна превышать 1 мс, что на данный момент является трудноразрешимой задачей и ограничивает возможность реализации данной услуги, как минимум ограничением скорости света.

Основные фундаментальные изменения в развитии сетей связи

1. *Сверхплотные сети.* Ранее, в данной статье данный термин и факт сверхплотности сетей связи был приведен. Сверхплотность сетей является одним из признаков не только сетей 5G/IMT-2020, но и всех последующих сетей. Как уже было отмечено, прогнозируется около 1 млн устройств на 1 кв. м и в соответствии с прогнозами, предельное число Интернет Вещей составляет 50 триллионов, что может быть достигнуто как раз ближе к 2030 году. Поэтому понятие сверхплотности будет только подтверждаться в процессе развития сетей и услуг к 2030 году [11].
2. *Сети связи с ультрамалыми задержками.* Тактильный Интернет привел к еще более значительным изменениям в области построения сетей

связи, поскольку в этом случае потребовалось передавать информацию с задержкой в 1 мс, что на данный момент в 100 раз меньше, чем в существующих сетях. Таким образом, стоит отметить, что концепция тактильного Интернета приводит к децентрализации сети, поскольку фундаментальные ограничения по скорости передачи света, естественно – непреодолимо. Такого рода сети имеют следующее название – «сети с ультрамалыми задержками» [11].

3. *Интернет навыков.* Стоит еще отметить концепцию Интернета навыков, которая появилась в 2017 году и также требуется для своей реализации наличия сетей с ультрамалыми задержками. Интернет навыков, как концепция позволяет реализовать в сетях с ультрамалыми задержками новые виды услуг. Данные услуги смогут позволить использовать сеть для приобретения людьми и робототехническими устройствами новых навыков [5, 12].
4. *Летающие сети.* Еще одним фундаментальным изменением в развитии сетей связи стало объединение летающего и наземного сегментов сетей в единую сеть. Стоит отметить, что при небольшой высоте пролета БПЛА в таких сетях, измеряемая десятками метров, делает их пригодными для использования в сетях связи с ультрамалыми задержками [11].

На основе анализа тех фундаментальных изменений в развитии сетей связи, можно утверждать, что сети связи 2030 будут являться сверхплотными сетями с ультрамалыми задержками, стремящихся к децентрализованной структуре сети, а также это поколение сетей приобретет ряд новых характеристик за счет развития технологий в области сетей и систем связи и в смежных отраслях [12].

В документе МСЭ, описывающем тенденции сетей 2030, определены следующие изменения:

1. *Телеприсутствие.* Персонализация сети. Или иначе говоря – присутствие цифровых аватаров в сети (двойников). Это одно из перспективных приложений для услуг сетей 2030. При этом предусматривается возможность нескольких аватаров одного человека. Для реализации данного типа сети необходимо построение сетей с ультрамалыми задержками. При этом услуги телеприсутствия не ограничиваются только воспроизведением действий пользователя. При использовании голографических приложений и аватаров будет возможно, например, смотреть футбольный матч не по телевизору, а как голографическую модель под любым углом [11].
2. *Наносети.* В 2030 году различные применения наносетей [13] и нановещей скорее всего уже смогут быть в широком применении. Как минимум – в медицине. Также одним из направлений в наносетях – является молекулярные сети.
3. *Летающие сети.* На данный момент развитие летающих сетей требует активных исследований для их применения в гражданских целях. Поэтому, согласно трендам, летающие сети могут войти в широкую гражданскую эксплуатацию ближе к 2030 году [11].

Большинство характеристик сетей связи 2030 будут определяться новыми технологиями, которые надут широкое внедрение для реализации этих сетей. Искусственный Интеллект (ИИ) (либо первые его версии/прототипы) будут интел-

лектуально управлять потоками трафика, квантовые компьютеры позволят терминалам пользователя выполнять множество новых трудоемких задач [11], нанотехнологии (наносети, наномашин) смогут открыть в мир связи в нано измерении и предоставить различные новые типы услуг связи, кроме того, концепция Индустрии 4.0 выйдет на новый уровень и другие изменения, которые на данный момент еще сложно оценить.

Заключение

В статье была рассмотрена концепция сетей связи 2030, как следующего шага развития сетей связи, которая могла бы послужить в свою очередь руководством для исследований в эпоху после 5G/ИМТ-2020. Были объяснены потенциальные сценарии применения, которые должны поддерживаться в сетях 2030. Также были введены ключевые функции и технологии, обеспечивающие связь 2030. В рамках статьи, в том числе обсуждались другие важнейшие вопросы, выходящие за рамки коммуникационных технологий, которые должны быть учтены при разработке сетей 2030.

Литература

1. Владыко А. Г., Мутханна А. С., Киричек Р. В., Волков А. Н., Маколкина М. А., Парамонов А. И. Программируемые сети SDN : учебное пособие. СПб.: Лигр, 2019. 120 с. ISBN 978-5-907207-41-7.
2. Бородин А. С., Кучерявый А. Е. Сети связи пятого поколения как основа цифровой экономики // Электросвязь. 2017. № 5. С. 45–49.
3. Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В., Кучерявый Е. А. Самоорганизующиеся сети. СПб.: Любавич, 2011. 312 с.
4. Кучерявый А. Е., Маколкина М. А., Киричек Р. В. Тактильный Интернет. Сети связи со сверхмалыми задержками // Электросвязь. 2016. № 1. С. 44–46.
5. Гольдштейн Б. С., Кучерявый А. Е. Сети связи пост-NGN. СПб.: БХВ–Петербург, 2014. 160 с.: ил. ISBN 978-5-9775-0900-8.
6. Кучерявый А. Е. Интернет Вещей // Электросвязь. 2013. № 1. С. 21–24.
7. Russell S., Norvig P.: 'Artificial Intelligence (A Modern Approach)'. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1995. 1152 p.
8. Negnevitsky M.: 'Artificial Intelligence – A Guide to Intelligent Systems'. 2nd ed. Essex: Addison-Wesley, 2005. 415 p.
9. Iovanna P. and Ubaldi F. SDN solutions for 5G transport networks // In Photonics in Switching (PS), 2015 International Conference on. IEEE. 2015, September. pp. 297–299.
10. Маколкина М. А. Разработка и исследование комплекса моделей трафика и методов оценки качества дополненной реальности : дис. ... д-ра техн. Наук : 05.12.13 / Маколкина Мария Александровна. СПб., 2020. 436 с.
11. Кучерявый А. Е., Бородин А. С., Киричек Р. В. Сети связи 2030 // Электросвязь. 2018. № 11. С. 52–56.
12. Выборнова А. И., Кучерявый А. Е. Тактильный интернет: новые возможности и задачи // Проблемы техники и технологий телекоммуникаций ПТиТТ-2016. Первый научный форум «Телекоммуникации: теория и технологии» ЗТ-2016. Самара, 2016. С. 133–134.
13. Waldner J.-B. Nanocomputers and Swarm Intelligence. ISTE, John Wiley & Sons, 2008. 189 p.

References

1. Vladyko A. G., Mutkhanna A. S., Kirichek R. V., Volkov A. N., Makolkina M. A., Paramonov A. I. Programmiruyemyye seti SDN: uchebnoye posobiye. SPb.: Ligr. 2019. 120 s. ISBN 978-5-907207-41-7.
2. Borodin A. S., Koucheryavy A. E. Fifth Generation Networks as a Base to the Digital Economy // *Electrosvyaz*. 2017. No 5. S. 45–49.

3. Kucheryavyy A. E., Prokopyev A. V., Kucheryavyy E. A. Samoorganizuyushchiyesya seti. SPb.: Lyubavich. 2011. 312 s.
4. Koucheryavy A. E., Makolkina M. A., Kirichek R. V. Tactile Internet. Ultra-Low Latency Networks // *Electrosvyaz*'. 2016. No 1. S. 44–46.
5. Goldshteyn B. S., Kucheryavyy A. E. Seti svyazi post-NGN. SPb.: BKhV–Peterburg. 2014. 160 s.: il. ISBN 978-5-9775-0900-8.
6. Koucheryavy A. E. Internet of Things // *Electrosvyaz*'. 2013. No 1. S. 21–24.
7. Russell, S., Norvig, P.: 'Artificial Intelligence (A Modern Approach)'. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1995. 1152 p.
8. Negnevitsky, M.: 'Artificial Intelligence – A Guide to Intelligent Systems'. 2nd ed. Essex: Addison-Wesley, 2005. 415 p.
9. Iovanna, P. and Ubaldi, F. SDN solutions for 5G transport networks // In *Photonics in Switching (PS)*, 2015 International Conference on. IEEE. 2015, September. pp. 297–299.
10. Makolkina M. A. Razrabotka i issledovaniye kompleksa modeley trafika i metodov otsenki kachestva dopolnennoy realnosti : dis. ... d-ra tekhn. Nauk : 05.12.13 / Makolkina Mariya Aleksandrovna. SPb., 2020. 436 s.
11. Koucheryavy A. E., Borodin A. S., Kirichek R. V. Network 2030 // *Electrosvyaz*'. 2018. No 11. S. 52–56.
12. Vybornova A. I., Kucheryavyy A. E. Taktilnyy internet: novyye vozmozhnosti i zadachi // *Problemy tekhniki i tekhnologiy telekommunikatsiy PTiTT-2016. Pervyy nauchnyy forum "Telekommunikatsii: teoriya i tekhnologii" 3T-2016. Samara. 2016. S. 133–134.*
13. Waldner, J.-B. *Nanocomputers and Swarm Intelligence*. ISTE, John Wiley & Sons, 2008. 189 p.

Волков Артём Николаевич – аспирант Санкт-петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, artemanv.work@gmail.com

Volkov Artem – postgraduate The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications

Мутханна Аммар Салех Али – кандидат технических наук, доцент кафедры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, ammarexpress@gmail.com

Muthanna Ammar – Candidate of Engineering Sciences, assistant professor, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, ammarexpress@gmail.com

Кучерявый Андрей Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, akouch@mail.ru

Koucheryavy Andrey – Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Head of the Department, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, akouch@mail.ru