



СЕТИ 5G/IMT-2020 & IoT – ОСНОВА ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Валерий Бутенко, генеральный директор ФГУП НИИР, д.т.н.
Вячеслав Веерпалу, директор НТЦ Анализа ЭМС ФГУП НИИР, д.т.н.
Евгений Девяткин, заместитель директора НТЦ Анализа ЭМС ФГУП НИИР, к.э.н.
Дмитрий Федоров, ведущий инженер НТЦ Анализа ЭМС ФГУП НИИР

ВВЕДЕНИЕ

Рассуждая об основных факторах, стимулирующих экономический рост государств в современных условиях, специалисты большие надежды возлагают на внедрение мобильных сетей подвижной связи технологии 5G/IMT-2020, искусственного интеллекта, интернета вещей (Internet of Things, IoT) – все эти технологии служат основой цифровой трансформации промышленного производства. Приведем одно из множества определений Digital Transformation: «Цифровая трансформация – это глубокие и всесторонние изменения в производственных и социальных процессах, связанные с тотальной заменой аналоговых технических систем цифровыми и с широкомасштабным применением цифровых технологий. Цифровая трансформация охватывает не только саму производственную деятельность, но и организационные структуры компаний и бизнес-моделей» [1].

Первая волна цифровой трансформации (1960–1970 гг.) позволила внедрить цифровизацию и автоматизацию отдельных видов деятельности в цепочку создания продуктов и услуг и подняться до уровня автоматизированного компьютерного проектирования и планирования производственных ресурсов.

Вторая волна цифровой трансформации (1980–1990 гг.) обеспечила переход к интеллектуальным

производствам и глобально интегрированным цепочкам поставок благодаря распространению интернета и компьютерных технологий.

Третья волна цифровой трансформации (2000–2010 гг.) привела к преобразованию всех производственных и социальных систем в киберфизические системы в результате смены «информационной революции» (1960–1990 гг.) «интеллектуальной революцией» и дала начало переходу к глобальному интернету вещей.

Сегодня мы находимся на этапе четвертой промышленной революции («Индустрия 4.0») и третьей волны цифровой трансформации, основу которых образуют информационно-телекоммуникационные технологии (ИКТ) и искусственный интеллект (ИИ) (рис. 1). Начиная с 2000-х годов свыше 100 стран мира (большинство индустриально развитых и многие развивающиеся) приняли решение о построении на базе «Индустрии 4.0» (IoT, большие данные, блокчейн и др.) «цифровой экономики». Под проекты цифровизации были утверждены национальные планы развития ИКТ-сетей.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ «ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА РФ»

Как важная движущая сила глобального экономического роста, цифровая экономика играет существенную роль в ускорении темпов экономического развития и фор-

мировании новых рынков и отраслей [2]. Перед Россией, как и перед всем миром, открываются возможности для технологического скачка во многих сферах деятельности. Важно на государственном уровне определить приоритетные направления для внедрения цифровых инноваций, реализуя которые можно с наименьшими затратами достичь поставленных целей и войти в число мировых лидеров. Решению этих задач служит программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [3], утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации № 1632-р от 28.06.2017.

Программа нацелена на создание условий для развития «общества знаний» в России, достижение благосостояния и качества жизни граждан страны за счет обеспечения доступности и качества товаров и услуг (в том числе государственных), произведенных в цифровой экономике с использованием современных цифровых технологий, а также безопасности как внутри страны, так и за ее пределами.

Цифровая экономика представлена следующими тремя уровнями, которые в тесном взаимодействии влияют на жизнь граждан и общества в целом:

- рынки и отрасли экономики (сферы деятельности), где осуществляется взаимодействие конкретных субъектов: поставщиков и потреби-

Рисунок 1

Эволюция форм общественного производства



телей товаров, работ и услуг;

- платформы и технологии, на базе которых формируются компетенции для развития рынков и отраслей экономики (сфер деятельности);
- среда, создающая условия для развития платформ и технологий, эффективного взаимодействия субъектов рынков и отраслей экономики (сфер деятельности) и охватывающая нормативное регулирование, информационную инфраструктуру, кадры и информационную безопасность.

Поскольку оптимальное развитие рынков и отраслей в условиях цифровой экономики возможно только при наличии сложившихся платформ, технологий, институциональной и инфраструктурной сред, Программа сфокусирована на двух нижних уровнях цифровой экономики — базовых направлениях, определяющих цели и задачи:

- ключевых институтов, в рамках которых создаются условия для развития

цифровой экономики: нормативное регулирование, кадры и образование, цифровые технологии и цифровое государственное управление;

- основных инфраструктурных элементов цифровой экономики, таких как информационная инфраструктура, информационная безопасность.

Для каждого направления будет реализовываться своя федеральная программа (всего шесть на момент подготовки материала); уже определены центры компетенций и созданы рабочие группы (рис. 2).

БЕСПРОВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ

Федеральный проект «Информационная инфраструктура» направлен на создание глобальной конкурентоспособной инфраструктуры передачи, обработки и хранения данных, причем преимущественно на основе отечественных разработок в области проводной и беспроводной связи, цифровых

платформ, геоданных, хранилищ данных.

Использование цифровой информации и знаний, современных информационных сетей является ключевым фактором производства для различных видов экономической деятельности. Эффективное применение ИКТ выступает серьезной движущей силой повышения результативности и оптимизации структуры экономики. Для сбора, хранения, анализа и обмена информацией в цифровом формате, преобразования способов социального взаимодействия используются интернет, облачные вычисления, большие данные, интернет вещей, финансовые и другие новые цифровые технологии. Оцифрованные сетевые и интеллектуальные решения делают современную экономику более гибкой, динамичной и продуманной.

Ключевые технологии беспроводной связи, такие как 5G/IMT-2020, облачные и сенсорные сервисы, IoT и искусственный интеллект, будут консолидироваться и развиваться совместно, стимулируя тем самым экономический рост сначала в отраслях, определенных Программой как первоочередные, а затем и в общегосударственном масштабе [4].

Ясно, что основными разработчиками, реализаторами и эксплуатантами новых сетей связи, на базе которых будут внедряться интеллектуальные технологии, становятся операторы подвижной радиосвязи. Однако весь этот комплекс задач невозможно решать в отрыве от использования существующего научно-технического потенциала, поиска оптимальных путей решения вопросов межоператорского взаимодействия и формирования новых пакетов клиентских услуг, базирующихся на использовании возможностей современных ИТ-решений. Так,

Рисунок 2

Федеральные проекты нацпроекта «Цифровая экономика Российской Федерации»



уже сейчас операторы связи обращаются к решениям Big Data в рекламных кампаниях собственных и внешних продуктов, используя их, в том числе, для анализа потоков населения при расчете модели эффективности размещения новых офисов банков, салонов связи, фитнес-клубов. Технология позволяет анализировать обезличенные данные о пешеходном трафике, времени нахождения абонентов в конкретном районе и другие показатели [5].

К 2025 году, как следует из Отчета GIV 2025 [6], в мире будет насчитываться 40 млрд интеллектуальных устройств на базе искусственного интеллекта и 100 млрд сетевых соединений, способствующих переходу на цифровые технологии в приоритетных сферах — социальной, производственной и банковской. Эти два фактора серьезно сократят потребность в использовании хранилищ информации, будет сделана ставка на быстрый, безопасный и интеллектуальный обмен данными. В результате ежегодный объем глобальных данных достигнет 180

млрд Тбайт, т.е. в 20 раз больше, чем сегодня (9 млрд Тбайт). Средний объем использования данных в сетях мобильной связи на пользователя в день вырастет примерно в 30 раз — до 1 Гбайт.

В отчете 3GPP TR 38.913 [7] определены максимальные требования к ключевым показателям (KPI) сети 5G/IMT-2020:

- пиковая скорость передачи данных: в канале передачи вниз (DL) 20 Гбит/с; в канале передачи вверх (UL) 10 Гбит/с; на одного абонента 1 Гбит/с;
- пиковая спектральная эффективность: DL — 30 бит/с/Гц; UL — 15 бит/с/Гц;
- сквозная задержка в сети (user plane latency): 4 мс для услуг типа eMBB, 1 мс для услуг типа URLLC; сквозная задержка на уровне управления (control plane latency) 10 мс;
- плотность трафика: 10 Мбит/с/м² для сценария eMBB Indoor Hotspot;
- надежность передачи дан-

ных (вероятность потери пакета данных): 1×10^{-5} для пакета в 32 байт со сквозной задержкой в сети в 1 мс для услуг URLLC;

- плотность подключенных абонентских устройств: 1 млн на 1 км²;
- срок работы батареи абонентского терминала: 10 лет для устройств IoT (M2M);
- непрерывное обслуживание при хендвере.

Необходимой основой создания радиосистем, используемых для оказания услуг подвижной, спутниковой, фиксированной связи, телевизионного и радиовещания, технологических сетей, является радиочастотный спектр (РЧС). От рационального использования этого ресурса — ограниченного и имеющего международный характер пользования — в большой степени зависит развитие перспективных радиотехнологий, во многом определяющих будущее состояние экономики, обороноспособности и безопасности страны. Поэтому наличие системы управления, позволяющей системно решать задачи повышения эффективности использования РЧС, имеет особое значение для страны. Это один из важнейших теоретико-прикладных вопросов на корпоративном и государственном уровне.

Учитывая увеличение значений скорости передачи данных, плотности трафика в мобильных сетях связи, на первое место выходит вопрос эффективного регулирования использования РЧС. Прежде всего это касается обеспечения радиочастотным ресурсом перспективных радиотехнологий, таких как 5G/IMT-2020 и IoT. Основные направления развития и реализации радиочастотного ресурса должны быть определены в Концепции создания и развития сетей 5G/IMT-2020 в Российской Федерации.

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ СЕТЕЙ 5G/IMT-2020 В РФ
По заказу Министерства цифро-

вого развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации ФГУП НИИР выполнил полный перечень запланированных на 2018 год мероприятий по направлению «Информационная инфраструктура» программы «Цифровая экономика Российской Федерации» в интересах внедрения сетей 5G/IMT-2020 в России:

- определение принципов их построения (архитектура сети);
- разработка Концепции создания и развития сетей;
- определение полос радиочастот для их внедрения.

Инфраструктурной основой для реализации задач цифровой экономики определены такие сквозные технологии, как промышленный интернет вещей (IIoT), беспроводная связь, виртуальная и дополненная реальность. Их полномасштабное использование невозможно без создания и развития сетей 5G/IMT-2020.

Одним из показателей Программы по направлению «Информационная инфраструктура» является обеспечение к 2024 году устойчивого покрытия 5G/IMT-2020 во всех крупных городах (от 1 млн человек). На первый плановый год намечен следующий значимый контрольный результат реализации плана мероприятий – «04.01.007.001. Разработана Концепция создания и развития сетей 5G/IMT-2020 в Российской Федерации». Документ соответствует нормам Федерального закона от 28 июня 2014 года № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации».

В разработанной ФГУП НИИР Концепции определены и сформированы:

- основополагающие услуги и сервисы, предоставляемые в сетях 5G/IMT-2020;
- потребности экономики РФ в услугах и сервисах;
- технологические решения и требования высокого уровня

к построению сетей;

- подход к созданию и использованию сети радиосвязи операторами с использованием различных диапазонов радиочастот, выработанный с учетом международных тенденций развития телекоммуникационного рынка;
- требования к обеспечению информационной безопасности сети 5G/IMT-2020;
- сценарии построения архитектуры сетей 5G/IMT-2020 (проведена оценка ресурсов для их реализации по различным моделям перехода от сетей предыдущих поколений к сетям 5G/IMT-2020, в том числе с использованием модели единого инфраструктурного оператора);
- направления по разработке нормативно-правовых актов, необходимых для обеспечения использования технологии 5G/IMT-2020 в РФ.

Выбор частотных диапазонов – один из критических вопросов, которые необходимо решить для успешного внедрения сетей 5G. В настоящее время рассматривается много предложений по частотным полосам в диапазоне от 0,5 до 80 ГГц с точки зрения возможности и целесообразности развертывания в них сетей 5G. Каждая такая группа частотных диапазонов: ниже 1 ГГц, от 1 до 6 ГГц, выше 24 ГГц – имеет свои плюсы и минусы с точки зрения оптимального предоставления услуг 5G, а также различные ограничения для развертывания в них сетей 5G.

Для развития многодиапазонных сетей 5G необходимо иметь в виду соответствующие критерии:

- оптимальная поддержка в данном диапазоне требований к конкретному типу услуг 5G;
- наличие свободной непрерывной полосы частот достаточной ширины;
- возможность обеспечения

электромагнитной совместимости (ЭМС) оборудования сети 5G с другими радиоэлектронными средствами, работающими в этой и/или смежной полосе радиочастот;

- наличие сетевого и терминального оборудования для конкретных диапазонов;
- возможность глобальной гармонизации частотного диапазона.

В отличие от предыдущих поколений сетей связи (2G, 3G, 4G), для каждого из которых разрабатывался новый радиоинтерфейс, в сети 5G/IMT-2020 планируется применять как новый радиоинтерфейс (New Radio, NR), так и уже существующий интерфейс, в ходе эволюции приближающийся по своим характеристикам к NR. В стандарте LTE Advanced уже реализованы поддержка активных антенных систем, более эффективное кодирование и модуляция, агрегация нескольких частотных каналов, уменьшенная задержка на уровне радиоинтерфейса.

Однако структура NR изначально разрабатывалась для более высоких скоростей передачи данных и меньших задержек, более эффективного использования частотного ресурса. Это стало возможным благодаря следующим особенностям:

- применение сигналов с большей шириной спектра (до 100 МГц в диапазоне до 6 ГГц и до 400 МГц в диапазоне свыше 6 ГГц);
- обеспечение минимальных задержек на радиоинтерфейсе за счет увеличения частоты следования временных слотов кадровой структуры и модификации протокола управления радиоресурсами;
- применение адаптивного к нагрузке временного дуплекса;
- более эффективные помехоустойчивые коды;
- использование активных ан-

тенных систем миллиметрового диапазона с большим количеством элементов, с узкой диаграммой направленности излучения и высокой избирательностью;

- реализация индивидуальных сценариев использования ресурсов полосы частот канала NR для абонентских терминалов различных типов и производительности: широкополосных/узкополосных абонентских терминалов (WB/NB UE), абонентских терминалов с агрегацией несущих (CA UE).

Несмотря на меньшую по сравнению с NR эффективностью реализованных технических решений, эволюционный путь развития имеет более низкую стоимость и обеспечивает высокую скорость развертывания на основе существующей инфраструктуры, а также возможность обслуживания имеющихся терминалов LTE.

Для подключения большого числа маломощных устройств в рамках реализации концепции IoT в 3GPP были разработаны такие режимы работы LTE, как eMTC и NB-IoT. Они дополняют друг друга. Технология LTE-eMTC в большей степени ориентирована на более надежную связь с поддерживаемой мобильности и более высокую скорость передачи при потере в максимальном покрытии и энергетике. NB-IoT оптимизирована для сегмента IoT, где требуются максимальная дальность связи, малые скорости и большая энергоэффективность.

Радиоинтерфейс NR играет роль ключевого радиоинтерфейса для сценариев, предполагающих высокую пропускную способность и малую задержку. New Radio предполагается развертывать как в нижних, так и в верхних диапазонах радиочастот. Ключевыми особенностями радиоинтерфейса являются пересмотренная структура кадра с возможностью миними-

зации задержки до 1 мс, более широкие каналы, более эффективное помехоустойчивое кодирование и более продуктивное использование сложных антенных систем.

За счет усовершенствованного радиоинтерфейса спектральная эффективность технологии 5G/IMT-2020 существенно выше, чем у 4G. В миллиметровом диапазоне радиочастот (26 ГГц) основной вклад в повышение пиковой спектральной эффективности вносит применение Massive MIMO с большим количеством излучающих элементов в активной антенной решетке: выигрыш может достигать 50–80%.

ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВОЙ РЕВОЛЮЦИИ

Цифровизация проникает в жизнь каждого человека вне зависимости от его социального статуса, возраста, профессии, географии пребывания и физического состояния. Задача цивилизации — перевести «умный» мир в плоскость реальности, расставить правильные акценты при формировании планов разработки и применении современных цифровых технологий в целях получения максимального практического результата, как экономического, так и социального.

Четвертая промышленная революция, основанная на активном использовании ИКТ-сетей, включении искусственного интеллекта в процесс организации жизненного цикла человека, приведет в мир, который уже сегодня называют умным, сенсорным, подключенным (рис. 3).

Предварительный анализ этого перехода показывает, что первыми областями, активно осваивающими цифровые технологии, станут коммунальное хозяйство, транспорт, производство, здравоохранение, сельское хозяйство и финансы. К 2025 году, по прогнозам, 85% приложений для предприятий будут находиться в облачной среде, 86% транснациональных компаний внедрят искусственный

интеллект, а доля использования данных возрастет до 80%. Таким образом, ежегодно будет генерироваться 180 млрд Тбайт данных, что станет постоянным источником инновационных интеллектуальных технологий и создания новых экономически привлекательных продуктов и услуг.

Ожидается быстрый рост в сегменте портативных устройств, при этом более 440 млн пользовательских приложений к 2025 году будут использовать дополненную и виртуальную реальность, создавая новые режимы восприятия для человека. Число пользователей в сетях мобильной связи достигнет 6,5 млрд человек. Область покрытия сетей с пропускной способностью несколько гигабит в секунду превысит 30%.

При этом следует учитывать, что взаимодействие более 100 млрд устройств и вещей, соединенных между собой, будет генерировать настолько большой массив данных, что справиться с его обработкой можно будет только посредством специальных алгоритмов, основанных на интеллектуальных технологических решениях. Именно такие платформы, построенные на больших данных, облачных сервисах, IoT и ИИ, станут своего рода трамплином для перехода компаний на новые этапы развития.

По данным Отчета GIV 2025 [6], к 2025 году средний объем данных, использованных в системах связи во всем мире, в пересчете на одного пользователя вырастет в 10 раз — в среднем до 4 Гбайт на человека в день, а в сетях мобильной связи — примерно в 30 раз (до 1 Гбайт), 89% из которых составят видеоматериалы.

Технология 5G, облачные сервисы, видео, IoT, искусственный интеллект, блокчейн и другие технологии будут встраиваться в отрасль ИКТ, раскрывая огромный производственный потенциал и давая начало новой волне экономического развития. Они еще заметнее

Рисунок 3

Четвертая промышленная революция: интеллектуальные технологии, новые продукты и услуги



изменяют стиль жизни и работы людей, облик общества в целом.

Новые возможности открывает цифровая действительность перед людьми с ограниченными возможностями. Портативные устройства типа умных часов, умных очков и умных гарнитур станут серьезной интеллектуальной поддержкой для этой группы населения. Так, внедрение роботов-поводырей в сочетании с расширением возможностей облачных сервисов позволит 39 млн слепых и 246 млн слабовидящих людей зажить полноценной жизнью. Уже сегодня некоторые компании работают над проектом создания умной навигационной гарнитуры, которая поможет плохо видящим получать информацию о своем местонахождении, направлении движения и препятствиях с высокой точностью в режиме реального времени.

В сфере здравоохранения технологии виртуальной реальности будут задействованы для обучения хирургическим операциям, консультирования, телемедицины и реабилитации. Планируемые объемы рынка дополненной реальности в медицине составят \$1,2 млрд в 2020 году и \$5,1 млрд к 2025 году, а база пользователей достигнет 3,4 млн человек.

Облачные вычисления найдут более широкое применение в

центрах обработки данных, причем в странах с развитой экономикой традиционные ЦОДы станут быстро преобразовываться в облачные — к 2025 году на них будет приходиться 90% вычислительной нагрузки и 92% ресурсов хранения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цифровизация современной экономики как составляющая «Индустрии 4.0» — жесткое требование времени, которое знаменует собой пересмотр ранее сложившихся стереотипов и догм, касающихся методологии и инструментария управления государством, экономикой, производством и социальной сферой. И программа «Цифровая экономика Российской Федерации» столь же жестко диктует необходимость создания современной инфраструктуры сетей передачи, обработки и хранения данных. Развитие радиотехнологий становится одной из важнейших составляющих процесса цифровизации традиционных отраслей промышленности и народного хозяйства, который, как показано в статье, невозможен без внедрения перспективных сетей 5G/IMT-2020&IoT.

Подчеркивается важность обеспечения сетей 5G/IMT-2020 и IoT радиочастотным ресурсом. Основные направления развития

и реализации РЧС должны быть определены в Концепции создания и развития сетей 5G/IMT-2020 в Российской Федерации. Это тема будет подробно рассмотрена в следующей статье авторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Княгинин, В.Н. Цифровая трансформация компаний / Центр стратегических разработок – Северо-Запад. – 2018. – URL: http://econom.psu.ru/upload/iblock/419/v.n.knyagin_in_tsifrovaya-transformatsiya-kompaniy.pdf.
2. Инициатива «Группы двадцати» по развитию и сотрудничеству в области цифровой экономики, 05.09.2016. – URL: <http://kremlin.ru/supplement/5111>.
3. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28.06.2017 № 1632-р «Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации».
4. Бутенко, В.В. Беспроводные технологии в инфраструктуре цифровой экономики // Электросвязь. – 2017. – № 8.
5. Тишина, Ю. Большие данные идут на выручку // Коммерсантъ. – № 205 от 08.11.2018. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3793127>.
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.