

## ОБЗОРЫ

УДК 621.396

# ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ И СЕТЕЙ СВЯЗИ

© 2022 г. Е. С. Абазина<sup>1,\*</sup>, С. Х. Зиннуров<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия

\*E-mail: e.s.abazina@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.03.2022 г.

После доработки 20.03.2022 г.

Принята к публикации 20.03.2022 г.

Представлен обзор основных тенденций в развитии телекоммуникационных систем и сетей как в коммерческом сегменте, так и в интересах потребителей специального назначения. Дано краткое описание технологий, реализуемых в настоящий момент и получающих все большее распространение среди абонентов. Изложены базовые принципы и ориентиры концепции NewNet с прогнозируемым сроком реализации до 2030 г.

DOI: 10.56304/S2782375X22030020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### Введение

1. Основные источники телекоммуникационного трафика и технологий
2. Базовые положения концепции NETWORK 2030

### Заключение

## ВВЕДЕНИЕ

Направления развития и совершенствования спутниковых систем связи в коммерческом секторе и в интересах решения специальных задач как в мире, так и в Российской Федерации определяются тенденциями предоставляемых сервисов абонентам-потребителям (рис. 1). Анализ тенденций свидетельствует о значительном увеличении скоростей, необходимых потребителям для оказания услуг, набирающих популярность. В этой связи телекоммуникационные системы (в том числе спутниковой, радиорелейной и оптоволоконной связи) развиваются по пути наращивания пропускной способности и повышения мобильности абонентов при выполнении требований, предъявляемых к качеству обслуживания различных видов трафика, предоставляемых абонентам.

## 1. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО ТРАФИКА И ТЕХНОЛОГИЙ

Общее увеличение объемов телекоммуникационного мультисервисного трафика определя-

ется популяризацией услуг и технологий, приведенных ниже [1–8, 12, 13].

“Умный дом” — услуга системного комплексного централизованного управления (как правило, дистанционного) электроприборами и инженерным оборудованием. Технология, все чаще применяемая не только и не столько физическими лицами, сколько организациями для поддержания автоматизации процессов жизнеобеспечения офисов, рабочих и производственных мест и цехов.

“Умные голосовые помощники” — сервис предполагающий, как правило, программное обеспечение (или аппаратно-программную реализацию) распознавания человеческой речи и позволяющий осуществлять дистанционное управление. Сервис функционирует в основном благодаря применению алгоритмов искусственного интеллекта.

“B2B” (business to business) — “бизнес для бизнеса” и “business to civil” — информационное обеспечение экономического взаимодействия между юридическими лицами (B2B) и юридическим и физическим лицом (B2C) — с использованием электронных систем обмена данными EDI (Electronics Data Interchange).

Обеспечение распределенных вычислений, в том числе с использованием Blockchain-вычислений, которые в общем случае могут быть определены как распределенная база данных с устройствами хранения, не имеющими подключения к общему серверу, хранящая постоянно пополняющийся список упорядоченных записей обо всех

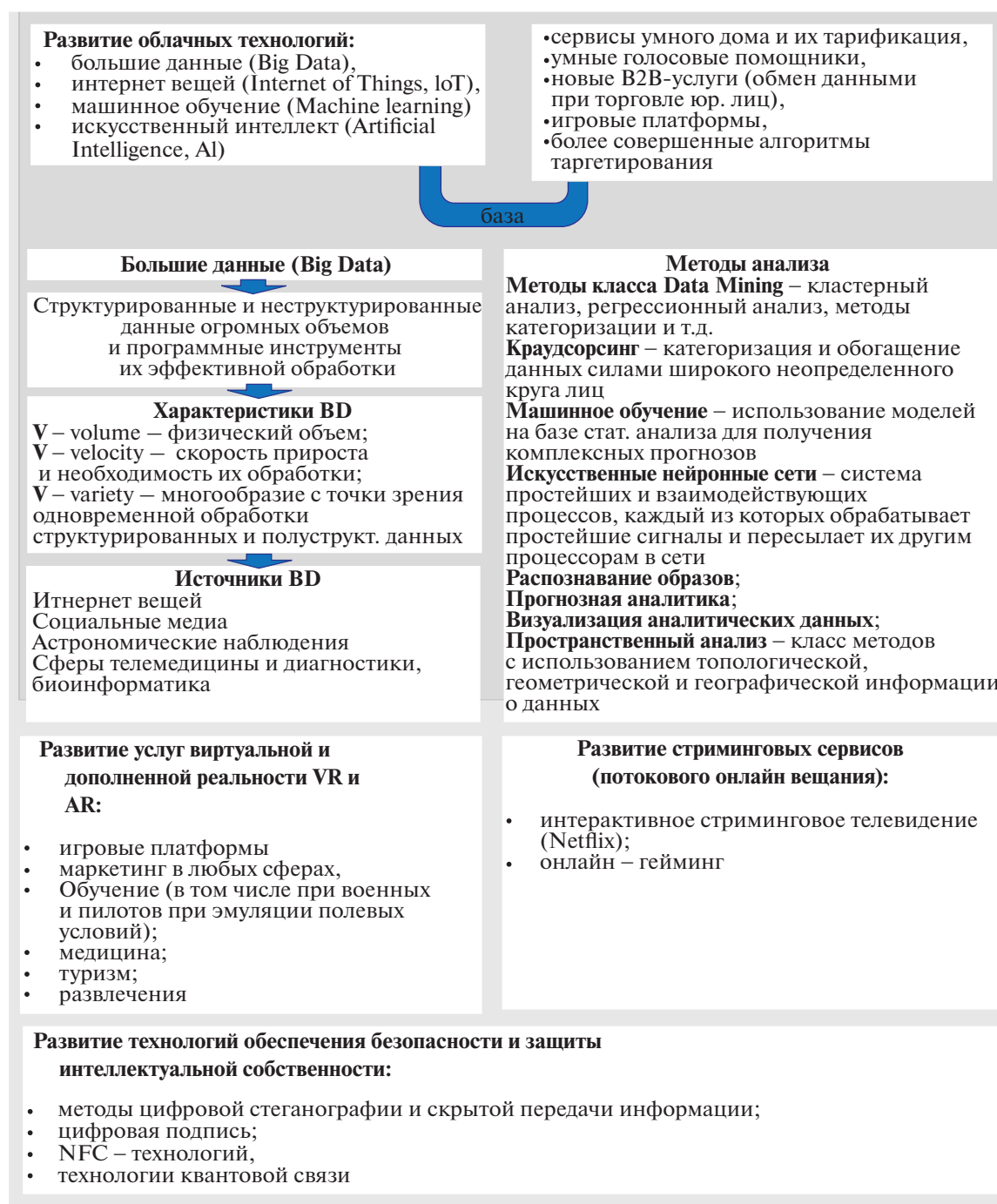


Рис. 1. Основные тенденции спутниковых систем связи 2020-х гг.

выполненных транзакциях между каждой парой устройств этой сети в каждом из устройств.

Игровые платформы и стриминговые сервисы – используют технологии высокоскоростной передачи и обеспечения доставки онлайн трафика.

Алгоритмы таргетирования – предполагают применение программного обеспечения, базирующегося на технологиях сбора статистики в ин-

тернете, ее аналитики и формирования целенаправленных предложений.

Социальные медиа – характеризуются ростом контента как в режиме реального времени, так и офлайн: трансляции блогов в социальных сетях, чаты, подкасты, публикации, каналы, ориентированные на самые разные аудитории потребителей.

Астрономические наблюдения — спутниковые системы изучения ближнего и дальнего космоса — проводят огромное количество (сотни миллионов) измерений различных параметров природных процессов каждые сутки. Снимки и проводимые наблюдения также являются основным источником информации в астрономии.

Услуги телемедицины и диагностики, биоинформатика — предполагают обеспечение передачи высококачественного изображения в режиме реального времени круглосуточно и ежедневно для предоставления консультативных медицинских услуг и врачебной помощи в ситуациях, когда личный прием врачом пациента исключен. Услуга ориентирована на предоставление консультативной медицинской помощи населению труднодоступных районов, особую популярность и актуальность получила в период пандемии, когда наблюдались острый дефицит специалистов и возможность переноса инфекции при физическом посещении пациентов.

Услуги виртуальной и дополненной реальности (VirtualReality, AugmentedReality) — трафик игровых платформ, маркетингового контента набирает популярность во многих сферах: при дистанционном обучении (в том числе, военных и пилотов при эмуляции полевых условий), в телемедицине, в сфере развлечений, создании новых услуг, например VR-туризма. Обе технологии предполагают компьютерную симуляцию реальности или воспроизведение некоторой ситуации с применением технических средств воспроизведения окружающего мира, передаваемых пользователю через ощущения (зрение, слух, обоняние, осязание). Отличие дополненной реальности состоит в использовании действительно существующих окружающих предметов при визуализации и придании им новых качеств, характеристик, изменении их в соответствии с целью “дополнения”. Реализуется в виде накладываемых виртуальных слоев на реальные объекты. VR и AR создаются благодаря использованию одних и тех же технологий, как правило, с помощью языка программирования, позволяющего формировать серии изображений с указанием типов взаимодействия между ними. Получение услуг виртуальной и дополненной реальности возможно с использованием оборудования, поддерживающего эти технологии.

Стриминговые сервисы (потокowego онлайн вещания): интерактивное стриминговое телевидение, онлайн-гейминг — сервисы, требующие высокоскоростной передачи с малым временем задержки, не превышающим 600 мс.

Также важным направлением в развитии современных телекоммуникационных технологий продолжает оставаться сфера обеспечения без-

опасности, которая грубо может быть классифицирована следующим образом:

- развитие методов цифровой идентификации и аутентификации (цифровая стеганография, скрытая передача информации; цифровая подпись);

- развитие NFT-технологий (Non-fungible token — невзаимозаменяемый токен) — технология, представляющая собой криптографический сертификат цифрового объекта с возможностью его передачи способами, применяемыми в криптовалютах, находит широкое распространение при сертификации права собственности на любые цифровые объекты;

- технологии квантового представления информации и квантовой связи — принципиально новый подход к обеспечению криптографической защиты информации, основанный на использовании фундаментальных законов квантовой механики, находят применение в банковской сфере, а также при обмене критически важной информацией в других областях жизнедеятельности.

В этой связи очевидно применение в телекоммуникационных системах алгоритмов обработки больших данных (BigData (**BD**)). Большими данными называются структурированные или неструктурированные массивы данных большого объема, соответствующие, как правило, характеристикам volume — физический объем, velocity — скорость прироста данных и необходимость их обработки, variety — многообразие с точки зрения обработки структурированных и полуструктурированных данных (характеристики VVV). Для анализа BD применяются следующие методы:

- методы DataMining — алгоритмы преобразования необработанных данных BD в полезную информацию, алгоритмы интерпретации знаний, используемых в принятии решений в различных сферах деятельности;

- методы краудсорсинга предполагают обработку BD с привлечением ресурсов широкого неопределенного круга лиц или вычислительных систем, включая распределенные;

- методы машинного обучения с использованием моделей на базе статистического анализа для получения комплексных прогнозов;

- искусственные нейронные сети — в общем случае подразумевается система простейших и взаимодействующих процессоров, каждый из которых обрабатывает простейшие сигналы и пересылает их другим процессорам в сети;

- методы пространственного анализа — класс методов с использованием топологической, геометрической и географической информации о данных;

– прочие методы, направленные на совершенствование распознавания образов; развитие прогнозной аналитики; методы визуализации аналитических данных.

Необходимость предоставления высокоскоростного мобильного доступа в глобальные информационные сети характеризуется следующими тенденциями в телекоммуникационном мире.

1. Освоение более высокочастотных диапазонов – Ka, Ku, V, P. При этом трудности заключаются в создании возбуждателей антенных систем на отечественной электронной базе, генерирующих волны требуемого диапазона (наиболее актуальна данная задача в отношении диапазонов V (59–64 ГГц) и E (71–76, 81–86 ГГц); в электромагнитной совместимости с другими радиоизлучающими средствами, в том числе с радиорелейными станциями; в обеспечении требуемой дальности связи при поиске компромисса между энергетикой ультракоротковолновых сигналов и массогабаритными показателями абонентских терминалов, что наиболее критично при использовании высокочастотных диапазонов в спутниковой связи при предоставлении услуг в движении. При выборе диапазона частот (E или V) необходимо учитывать:

– дальность связи – V-диапазон вследствие сильной интерференции с водяными парами подвержен очень сильному затуханию из-за атмосферных осадков (рис. 2), поэтому дальность связи таких систем редко превышает 2 км. Однако за счет этого значительно снижается эффект интерференции между соседними станциями, что упрощает частотное планирование. E-диапазон, в свою очередь, из-за атмосферных осадков находится выше резонансного всплеска замираний, поэтому в данном диапазоне дальность связи существенно больше, чем в V-диапазоне, и может превышать 10–12 км. Но при этом потенциально повышается вероятность интерференции между соседними станциями, что требует более детального частотного планирования (рис. 2).

– скорость передачи – V-диапазон имеет общую полосу частот 5 ГГц при обмене информацией в режиме полудуплекса и 1.2 ГГц в режиме дуплекса. Это соответствует общей скорости передачи информации до 5 Гбит/с в первом случае и до 1.5 Гбит/с – во втором. E-диапазон имеет общую полосу пропускания 10 ГГц при двунаправленном обмене, что определяет возможность достижения скоростей беспроводной передачи более 10 Гбит/с.

– монтаж телекоммуникационного оборудования – V-диапазон характеризуется простотой и оперативностью установки, малыми габаритами, в то время как системы E-диапазона требуют более долгой инсталляции и тщательной настройки.

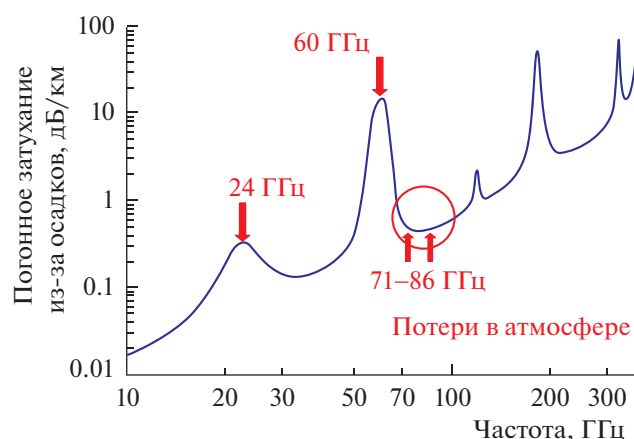


Рис. 2. Затухание вследствие атмосферных осадков в V- и E-диапазонах.

2. Разработка многоспутниковых систем типа LEO-/MEO-/HEO-HTS, в том числе проведение исследований и создание спутниковых систем Сфера, OneWeb, SpaceX, Telesat LEO и др., ориентированных на обеспечение глобального покрытия и высокоскоростного широкополосного доступа. Использование новых негеостационарных спутниковых орбит возрастает, что позволит в некоторых случаях значительно сократить задержки в прохождении спутникового сигнала и покрыть всю поверхность земного шара, включая приполярные регионы.

3. Создание многоуровневых орбитальных группировок с межспутниковыми линиями взаимодействия и информационного обмена.

4. Поиск технологических решений, ориентированных на снижение стоимости, массогабаритных показателей космических аппаратов при повышении их надежности и времени эксплуатации.

5. Использование узконаправленных антенных систем (с так называемой архитектурой «точечного луча»), антенных фазированных решеток и антенн с синтезированной апертурой.

6. Увеличение взаимодействия операторов спутниковых сетей и наземных сетей связи. В частности, операторы сотовых сетей проявляют интерес к спутниковым сетям, поскольку их использование позволяет снизить капитальные затраты на установку, техническое обслуживание базовых станций и таким образом получить преимущество относительно волоконно-оптических сетей связи и других технологических решений. Благодаря снижению издержек операторы сотовой связи при развертывании сетей стандарта 5G все чаще ориентируются на партнерство с поставщиками спутниковых услуг.

7. Общая милитаризация космического пространства: создание КА и наземного сегмента,

ориентированного на двойное использование, а также многофункциональность.

Построение квантовых спутниковых систем связи описано в [9, 10, 12, 13]. Использование квантовых эффектов — один из основных ожидаемых вариантов эволюции связи. Эта технология не исключает, но дополняет традиционные виды связи. Квантовая запутанность — явление связи квантовых характеристик, которая может сохраняться, даже если частицы расходятся на большое расстояние, так как, измеряя квантовые характеристики одной из связанных частиц, автоматически становятся известны характеристики второй. Первый протокол квантовой криптографии появился в 1984 г. С тех пор создано множество как экспериментальных, так и коммерческих систем, основанных на явлениях квантового мира. Современное состояние развития квантовой связи характеризуется использованием, в первую очередь, в банковской сфере, предъявляющей повышенные требования к соблюдению особых условий безопасности. Для передачи информации в квантовых сетях используется эффект квантовой телепортации. При квантовой телепортации материального переноса объекта из пункта А в пункт Б не происходит — происходит передача «информации», а не вещества или энергии. Телепортация используется для квантовых коммуникаций, например для передачи секретной информации. Это не информация в привычном виде. Упрощая модель квантовой телепортации, можно сказать, что она позволяет генерировать последовательность случайных чисел на обоих концах канала, т.е. возможно создать шифроблокнот, который нельзя перехватить. Передача информации с использованием эффектов квантовой запутанности практически исключает возможность компрометации системы, так как ее перехват не даст злоумышленникам никакой ценной информации, на выходе они получают другой набор цифр, поскольку состояние системы, в которую вмешивается внешний наблюдатель, меняется. Сложность создания глобальной квантовой системы передачи информации заключается в значительном затухании сигнала при попытках использовать в качестве среды оптоволокно. Оптоволоконный кабель подвергается перепадам температур, из-за чего меняется коэффициент преломления. Из-за воздействия солнца может сдвинуться фаза фотона, что в определенных протоколах приведет к ошибке. Одним из возможных выходов стало создание в Китае в 2016 г. спутника QSS (Quantum experiments at Space Scale), который должен реализовать схемы квантового распределения ключа на расстоянии более 7000 км. Эксперименты ведутся по всему миру, в том числе в России. Несколько лет назад появилась первая в стране линия квантовой связи. Она связала два корпуса университета ИТМО в Санкт-Петербур-

ге. В 2021 г. была запущена квантовая линия связи между Москвой и Санкт-Петербургом, принадлежащая корпорации «Газпром».

Возможные недостатки квантовой связи с точки зрения использования ее для обеспечения информационной безопасности обоснованы исследованиями, опровергающими вывод о том, что с помощью квантовой криптографии можно передавать информацию, перехват которой невозможен ни при каких обстоятельствах. Установлено, что при неких условиях квантовые системы связи можно взломать благодаря особенностям в подготовке квантового шифра. Также был предложен метод слабых квантовых измерений, фактически нарушающий принцип наблюдателя и позволяющий вычислить состояние квантовой системы по косвенным данным. Впрочем, наличие уязвимостей не повод отказываться от самой идеи квантовой связи. Кроме того, квантовые эффекты, возможно, позволят ускорить передачу данных. С помощью запутанных фотонов можно передавать почти вдвое больше информации в единицу времени, если их дополнительно кодировать с помощью направления поляризации. На сегодня квантовая связь остается одним из самых перспективных направлений развития глобальных коммуникаций.

## 2. БАЗОВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ NETWORK 2030

Обобщая приведенную информацию, отметим разработку в области создания и перехода к новым протоколам обмена информацией с учетом представленных тенденций в сети Интернет. Идеи перехода на иные способы глобального обмена прорабатываются на уровне Международного союза Электросвязи, где формируется концепция Network 2030 или NewIP [11–13].

Концепция Network 2030 является собирательным названием исследования, направленного на создание новых и развитие существующих телекоммуникационных сетей. Проект затрагивает фиксированную связь (LAN, WAN, спутники), при этом существенное внимание уделяется увязыванию между собой разнотипных сетей передачи данных. Главой рабочей группы по Network 2030 является Ричард Ли (CEO Futurewei, подразделения Huawei в США), в группе есть представители техногигантов из нескольких стран — США (Verizon), Южной Кореи (SK Telecom), Китая (ChinaTelecom), Великобритании (National Physical Laboratory) и России (Ростелеком). По мнению авторов проекта, основной проблемой современного интернета является жесткое разделение базовых технологий на телекоммуникационные (по передаче сигнала с заданным качеством) и информационные (технологии приложений при предоставлении конкретного сервиса

**Таблица 1.** Абстрактные размеры с соответствующими сетевыми требованиями

| Требование             | Релевантные требования                                                                              |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Пропускная способность | Пропускная способность, емкость. QoE, QoS, гибкость, адаптивность передачи данных                   |
| Время                  | Задержки, синхронизация, джиттер, своевременность, планирование, координация (поток между собой)    |
| Безопасность           | Конфиденциальность, доверие, гибкость, отслеживаемость, возможность законного перехвата             |
| AI                     | Обработка данных, хранение данных, аналитика, автономность, гибкость настройки алгоритмов обработки |
| ManyNets               | Адресация, мобильность, объединение гетерогенных сетей                                              |

абоненту). В результате сформированный пакет данных у абонента без изменений продвигается по сети. Такой подход оправдан в сетях, где трафик однороден и в основе лежит надежность доставки. Но в сетях нового поколения необходима более гибкая схема, которая учитывает требования к пользующимся спросом сервисам [11–13]. При этом разработчики предполагают популяризацию новых видов услуг.

1. Holographic type communications (HTC) – создание реалистичных 3D-изображений, просмотр которых возможен либо совсем без очков, либо с помощью устройств дополненной реальности. Требования, которым должны удовлетворять сети Network 2030, характеризуются низкими задержками, одновременной доставкой до всех абонентов широким каналом с пропускной способностью – гигабиты в секунду, а также высокой производительностью обработки данных абонентских терминалов.

2. Tactile Internet for remote operations (TIRO) – сервис удаленной работы с роботами, предназначенными для различных целей (автоматизация производства, проведение операций). Требования, которым должны удовлетворять сети Network 2030, – синхронность передачи аудиовизуальной и тактильной информации при малом времени задержки передачи и высокая пропускная способность каналов связи.

3. Human System Interface (HSI) – услуга описывается как 360°-ное видео, передаваемое с задержкой, не превышающей задержки, фиксируемой системой зрения человека. Для данного сервиса более важно обеспечение синхронизации в сравнении с задержкой передачи в обе стороны.

4. Intelligent operation network (ION) – представляет собой множество точек снятия параметров, использование искусственного интеллекта для анализа и динамической реакции. Предъявляемые требования к перспективной сети: низкие задержки и реакция на события, динамическая конфигурация сетей.

5. Network and computing convergence (NCC) – представляет объединение сетей различных ти-

пов, в том числе беспроводных. Единые протоколы, гибкая адресация, отсутствие привязки к географии, способность к быстрому изменению конфигурации сети.

6. Digital twins (DT): цифровые двойники процессов, управляемых в реальном времени. Много разнотипных данных, приходят быстро, быстрый отклик на события, разная степень мобильности. Присутствуют критичные к разглашению персональные данные, в приоритете автоматизированный анализ.

7. Space-terrestrial integrated network (STIN): инфраструктура передачи данных с предсказуемой траекторией движения спутников. Скорость передачи данных сильно зависит от энергетики канала и метеорологических явлений, на которые оператор повлиять не может.

8. Industrial IoT (IIoT) with cloudification: облако для обслуживания процессов автоматизированного производства. Фактически, создается изолированная инфраструктура, элементы которой постоянно обмениваются небольшими порциями данных. Наборы требований к каждому сервису представлены в табл. 1 и на рис. 3.

В концепции Network 2030 особое внимание направлено на тайминги. Например, при дистанционном управлении транспортным средством очень важно, чтобы возможности сети позволяли не только передать телеметрию, но и получить и выполнить какой-либо управляющий сигнал.

В связи с этим рабочей группой предлагается определить три типа сервисов: in-time, on-time, скоординированный сервис.

Сервисы распределены по времени доступа к данным (табл. 2, 3). Наиболее интересным и в то же время спорным элементом концепции Network 2030 является возможность адаптивного управления сетями. Рабочей группой предлагается технологический стек для динамического управления сетями. Функционирует такой механизм следующим образом: из многочисленных узлов сети собираются актуальные параметры, далее на основе алгоритмов искусственного интеллекта изменяется конфигурация сети для





Рис. 3. Оценка требований к практической реализации перспективных сервисов.

обеспечения наилучших показателей производительности (рис. 3).

Интересен также механизм защиты от подмены узлов, когда каждый узел должен хранить хэши недавно переданных пакетов. Если у соседнего элемента возникает сомнение в легитимности источника/приемника, он сравнивает собственный хэш с хэшем на узле. Авторы концепции подчеркивают, что основной целью его внедрения является забота о безопасности и надежности всей системы в целом. При этом наличие такого механизма позволяет говорить о возможности получить дополнительные инструменты контроля над действиями конкретного пользователя. Таким образом, технологии, даже прорывные, начинают приносить пользу только тогда, когда становятся востребованными. Современные электронные платежи, государственные услуги онлайн, стриминг фильмов и игр, интернет-мага-

зины и службы доставки прошли долгий путь эволюции от плохо работающей поделки до действительно удобных сервисов. Чем сложнее технология, чем больших вложений она требует — тем меньше шансов на успех.

Совершенно ясно, что одного изменения подхода к проектированию сетей будет недостаточно. Потребуется как минимум наличие соответствующей инфраструктуры — сетей передачи данных и устройств, способных реализовывать перечисленные сервисы, а также устройств, позволяющих этими сервисами пользоваться. В Международном союзе электросвязи это понимают, поэтому подчеркивается, что переход будет поэтапным.

В первую очередь это касается вновь создаваемых сетей. Модернизация имеющейся инфраструктуры должна осуществляться постепенно с сохранением обратной совместимости. Для того

Таблица 2. Типы сервисов и сферы их применения

| Тип                      | Критерий получения данных                  | Сфера применения                                                                                | Время, мс         |
|--------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| In-time                  | Не позже определенного момента             | Управление производством<br>Телемедицина                                                        | $t \sim 1-10$     |
| On-time                  | В рамках строго заданного узкого интервала | Управление инцидентами,<br>Согласованные по времени действия (например, управление роем дронов) | $\Delta t \sim 1$ |
| Скоординированный сервис | Относительно других потоков                | Мультимедиа<br>Автономно действующие системы                                                    | $t < 5$           |

Таблица 3. Задержки

| Составной сервис          | Критерий                                       | Применение                                                                                                                               | Время, мс |
|---------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Качественный сервис       | В зависимости от состояния сети                | Высокая пропускная способность для передачи мультимедиа (например, голограмм)                                                            | 40        |
| Голограммы                | Управляемый, тайминги и ширина канала критичны | Высокие требования к пропускной способности канала, применение различных кодеков в зависимости от задачи (телеконференции, телемедицина) | 30        |
| Цифровая телепортация     | Управляемый, потоки синхронизированы           | В режиме, близком к реальному                                                                                                            | 30        |
| Тактильные взаимодействия | Зависимость от таймингов, высокая надежность   | Низкое время отклика, кодек зависит от типа мультимедиа, в некоторых случаях требуется высокая пропускная способность канала             | 10        |

чтобы данный процесс проходил наименее болезненно, предложен системный подход к построению технологического стека 2030 (рис. 4).

Для наиболее перспективных, с точки зрения авторов концепции, направлений предложены следующие варианты реализации:

– автоматизация и роботы. Управление процессами производства, требующее оперативного

информационного обмена в рамках заданных ограничений по задержкам, работа с “цифровыми двойниками”. Данные: телеметрия и управляющие сигналы;

– голографические технологии. Массовая рассылка мультимедийных данных (потокное видео и голограммы), в приоритете – широкие каналы;

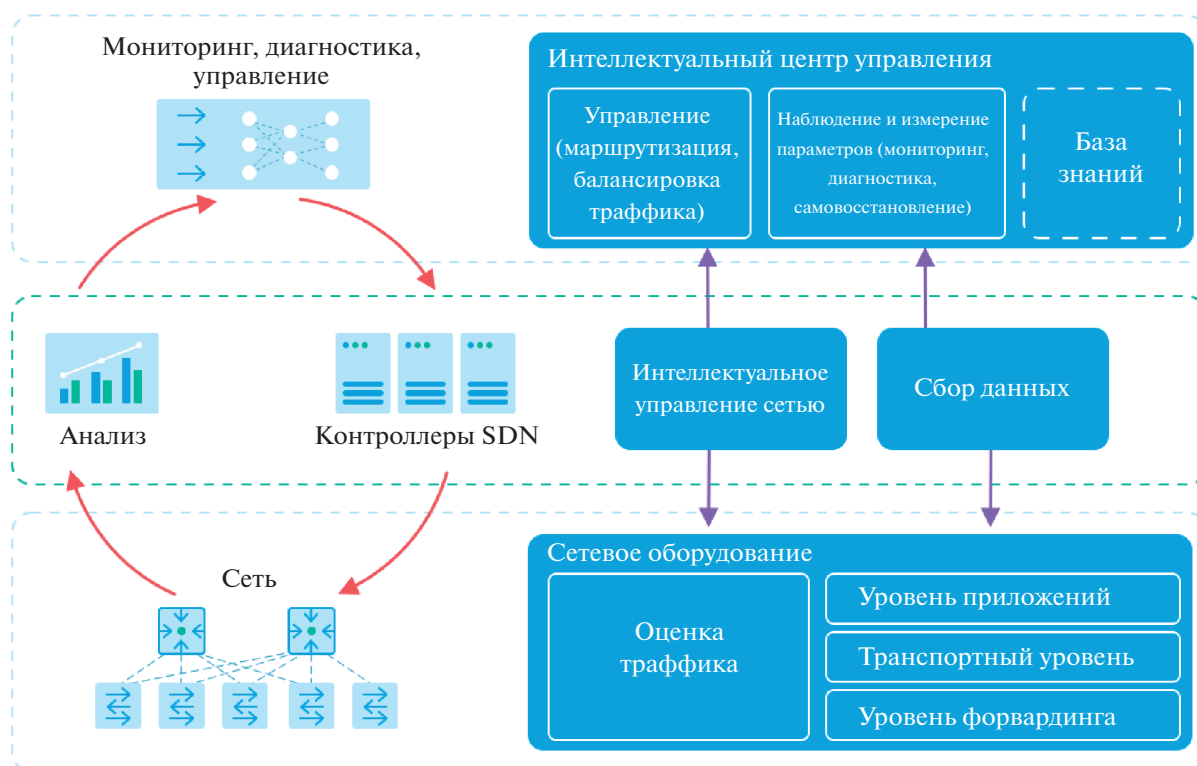


Рис. 4. Изменение конфигурации сети для обеспечения наилучших показателей производительности.



– технологии телеприсутствия и дополненная реальность. Передача тактильных ощущений и т.п. Требуется синхронность передачи всех потоков;

– телемедицина. Устройства для проведения инвазивных процедур, требуется гарантированная передача данных;

– автономно действующие критические системы. Беспилотные транспортные средства, системы управления городской инфраструктурой (дорожное движение и т.п.), которым требуется гарантированная передача пакетов в рамках заданных временных интервалов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Большинство постулатов концепции Network 2030 в настоящее время не имеет реализации в виде готовой технологии. Рабочая группа при Международном союзе электросвязи только изучает гипотезы и возможность их применения в будущем. Очевидно, что только одного желания для реализации всех задуманных в концепции новшеств мало, проект должен найти поддержку у производителей оборудования и сервис-провайдеров. Реализация концепции, в каком бы виде она не была принята к исполнению, потребует тотальной замены оборудования и появления новых протоколов связи.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ИТ-тренды 2022.  
<https://www.cnews.ru/projects/2021/trends2022>
2. Телекоммуникационный рынок России: влияние пандемии и перспективы развития.  
[https://delprof.ru/press-center/open-analytics/tele-](https://delprof.ru/press-center/open-analytics/tele-kommunikatsionnyy-rynok-rossii-vliyanie-pandemii-i-perspektivy-razvitiya/)
3. От виртуальных операторов до сетей 5G и Интернета вещей: телеком-тренды в современном мире.  
<https://bankstoday.net/last-articles/>
4. Полный отказ от телефонов и умные операторы связи: как изменился телеком за 10 лет. Хайтек-медиа про высокие технологии.  
<https://hightech.fm/2020/10/26/telecom>
5. Тренды технологий связи ближайшего будущего.  
<https://habr.com/ru/company/zyxel/blog/494766/>
6. Будущее уже наступило, или что такое блокчейн.  
<https://timeweb.com/ru/community/articles/chto-takoe-blokcheyn>
7. Спутниковая связь: тенденции и новые модели развития. <https://www.connect-wit.ru/sputnikovaya-svyaz-tendentsii-i-novye-modeli-razvitiya.html>
8. Тихвинский В.О., Стрелец М.В. // Первая миля. 2018. № 1.  
[http://www.geyser-telecom.ru/rus/about/publications\\_full/publikacii/1mile\\_2018/](http://www.geyser-telecom.ru/rus/about/publications_full/publikacii/1mile_2018/)
9. В России заработала первая линия квантовой связи.  
[https://www.cnews.ru/news/top/2021-06-09\\_rossiya\\_perehodit\\_na\\_kvantovye](https://www.cnews.ru/news/top/2021-06-09_rossiya_perehodit_na_kvantovye)
10. Квантовая связь. Портал о технологиях мобильной и беспроводной связи.  
<http://1234g.ru/novosti/kvantovaya-svyaz>
11. New IP. <http://www.tadviser.ru/index.php/>
12. Новиков Е.А. Инфокоммуникационные системы специального назначения: уч. пособие / Под ред. Новикова Е.А. и др. Санкт-Петербург: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2022. электрон. опт. диск (CD-ROM) для IBM PC, Windows 95 и выше.
13. Новиков Е.А. Администрирование спутниковых сетей связи космических комплексов: уч. пособие / Под ред. Новиков Е.А. и др. Санкт-Петербург: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2022. электрон. опт. диск (CD-ROM) для IBM PC, Windows 95 и выше.