

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВОЕННУЮ СВЯЗЬ

Иванов В. Г.¹, Лукьянчик В. Н.², Кузин П. И.³

DOI:10.21681/3034-4050-2026-1-16-32

Ключевые слова: информационные технологии, стандарты 5G и 6G, облачные вычисления, интернет вещей (IoT), спутниковая связь, квантовые технологии.

Аннотация

Цель работы: выполнить анализ инновационных технологий в телекоммуникации, определить наиболее востребованные и оценить их влияние на военную связь.

Метод исследования: методологическую основу исследования составила общая теория систем с использованием методов системного анализа и выборочного метода на основе соответствия параметров удовлетворяющих военной связи и системам военного управления.

Результаты исследования: рассмотрены и выбраны десять инфотелекоммуникационных технологий, которые по мнению авторов окажут существенное влияния на систему военной связи. К ним относится: мобильная связь 5G/6G, в которой осуществляется существенная трансформация и переход на новые форматы; облачные вычисления которые обеспечат развитее не только военной связи; технологии Интернет вещей обеспечивающие взаимодействия физических объектов между собой и/или с внешней средой, с применением специализированного оборудования, программного обеспечения; спутниковая связь на низкой околоземной орбите обеспечивающая предоставление широкополосного доступа в интернет, развития IoT-систем и услуг сотовой связи с применением технологии Direct-to-Device (D2D) «сети с прямым подключением устройств»; квантовые технологии реализующие новые методы инфотелекоммуникации и вычислений; технологии беспроводной связи Wi-Fi 7/Wi-Fi 8. обещающие увеличение максимальной скорости передачи данных в 13 раз выше скорости у Wi-Fi 5 и почти в пять раз – у Wi-Fi 6. Wi-Fi 7; Сети с искусственным интеллектом; технологии скоростного доступа FTTx широкополосной телекоммуникационной сети передачи данных, использующей в своей архитектуре волоконно-оптический кабель в качестве последней мили для обеспечения всей или части абонентской линии; программно-определенные сети меняющие традиционный подход к управлению сетями, делая их более гибкими, управляемыми и адаптируемыми к требованиям потребителей услуг связи; системы когнитивного радио.

Практическая полезность заключается в обзоре и определении инновационных технологий в телекоммуникациях, которые окажут существенное влияние на развитие военной связи, системы управления войсками и оружием на перспективу до 2040 года.

Введение

Опыт применения войск и оружия, а также организации управления и связи в ходе вооруженных конфликтов, особенно специальной военной операции (СВО) показывает, что помимо военных технологий успешно используются технологии «двойного» назначения. Следовательно, постоянно необходимо рассматривать современные и перспективные инфокоммуникационные технологии которые могут найти применение в военной связи уже сегодня или на ближайшую перспективу.

Термин «информационные технологии» (ИТ) чаще всего встречается в контексте инноваций, перспективных исследований и разработок, улучшения качества данных и их защиты, киберугроз, представления новых технологических реалий современного мира. Сегодня СУ ВН функционирует в условиях технической гетерогенности разнотипного телекоммуникационного оборудования и одновременного использования различных технологий передачи информации.

Развитие телекоммуникационной сферы обуславливается постоянно растущими

¹ Иванов Василий Геннадьевич, доктор военных наук, доцент, профессор кафедры информатики и вычислительной техники инженерного факультета Академия гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени генерал-лейтенанта Д. И. Михайлова. г. Химки, Россия. E-mail: was2006@yandex.ru

² Лукьянчик Валентин Николаевич, кандидат военных наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного. г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: v-lukyanchik@bk.ru

³ Кузин Павел Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С. М. Кирова., г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: kuzik78@mail.ru

требованиями пользователей к доступу информации, при этом в качестве пользователей уже сегодня стали электронно-вычислительные машины в том числе с искусственным интеллектом. Проведенный анализ инновационных технологий в телекоммуникации позволил сформировать, рейтинг наиболее популярных инновационных технологий которые окажут существенное влияние на развитие систем военной связи (рис. 1).

Основная часть

Мобильная связь 5G/6G. Продолжается трансформация отрасли сотовой связи на фоне внедрения 5G. Ожидается новые развертывания на развивающихся рынках и расширение охвата в развитых странах. Начинает набирать обороты технология 5G Advanced, или 5.5G: это промежуточный этап между стандартами 5G и 6G. Внедрение 5G Advanced поможет повысить пропускную способность каналов связи, сократить время задержки, увеличить надежность и эффективность работы IoT. Другим направлением является развитие 5G

RedCap, или Reduced Capability. Эта версия 5G снижает требования к устройствам, одновременно предлагая расширенные возможности по сравнению с 4G, включая повышенную скорость передачи данных и уменьшенные задержки. Сети RedCap предоставляют базовые функции подключения, адаптированные для менее мощного и требовательного IoT-оборудования. Используя 5G RedCap, предприятия смогут эффективнее управлять техникой благодаря упрощению сетевой инфраструктуры, использовать расширенные возможности видеомониторинга, получать информацию с сенсоров и интегрировать персональные устройства в автоматизированную систему управления предприятием. С появлением 6G человечество делает следующий шаг в эволюции сетей мобильной связи. 6G – это стандарт мобильной связи шестого поколения, который находится в стадии завершения разработки (рис. 2). Ожидается, что сети 6G смогут передавать данные в сотни раз быстрее, чем 5G, с потенциальной скоростью до одного терабита в секунду.



Рис. 1. Рейтинг наиболее популярных инновационных технологий в телекоммуникации

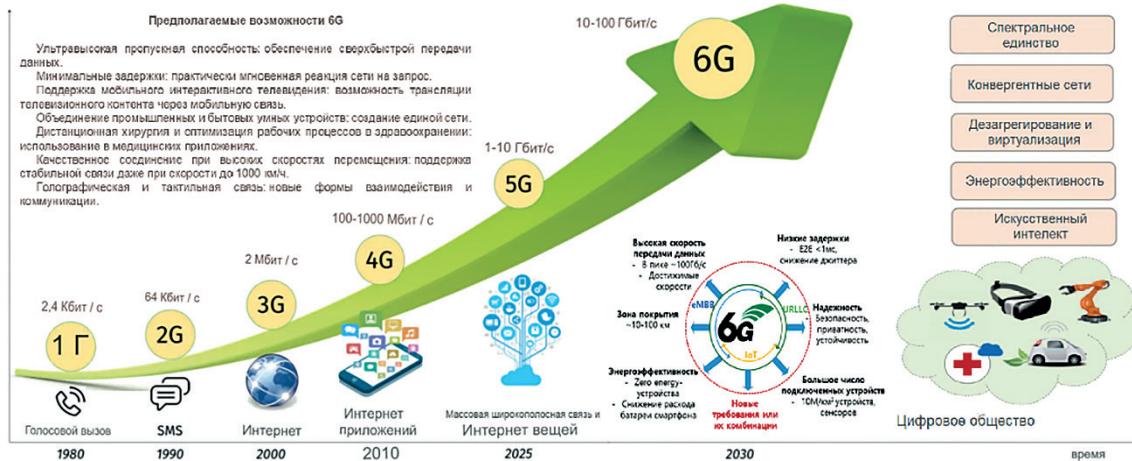


Рис. 2. Развитие сетей мобильной связи

Одним из ключевых отличий будет использование терагерцевого диапазона, что позволит значительно расширить зоны покрытия, включая возможность связи под водой, на больших высотах и даже в космосе.

Если посмотреть на всю картину и области применения, то системы связи 6G должны поддерживать переход различных сфер индустрии на цифровой формат. Как результат, спектр требований от компаний и их количественные значения существенно возрастут (рис. 3).

Для передачи данных стоит ожидать требования на пиковые значения скоростей до нескольких Гб/с. Поддержка зоны покрытия в несколько сот километров для спутниковой связи. Существенно возрастет энергоэффективность при применении мобильных средств (смартфонов, планшетов).

Термин **Облачные вычисления** (Cloud Computing) стал использоваться на рынке ИТ с 2008 года. Идеология заключается в переводе организации вычислений, обработки



Рис. 3. Ключевые особенности 6G



Рис. 4. Облачные и периферийные вычисления

и хранения данных с персональных компьютеров в Интернет.

Потребители облачных вычислений могут значительно уменьшить расходы на инфраструктуру информационных технологий (в краткосрочном и среднесрочном планах) и гибко реагировать на изменения вычислительных потребностей, используя свойства эластичных вычислений (англ. *elastic computing*) облачных услуг (рис. 4).

К настоящему времени можно выделить несколько основных технологий (моделей) этого направления:

- инфраструктура как услуга (*Infrastructure as a Service*, IaaS);
- платформа как услуга (*Platform as a Service*, PaaS);
- данные как услуга (*Data as a Service*, DaaS);
- программное обеспечение как услуга (*Software as a Service*, SaaS);
- рабочее место как услуга (*Workplace as a Service*, WaaS);
- все как услуга (*Allas a Service*, AaaS).

Помимо различных способов предоставления сервисов различают несколько вариантов развертывания облачных систем: публичное, частное и гибридное облака (Public Cloud/Private Cloud/Hybrid Cloud).

Основными характеристиками облачных вычислений являются:

Масштабируемость, как способность информационных систем выдерживать растущие нагрузки и обрабатывать большие объемы данных. Масштабируемое приложение позволяет выдерживать большую нагрузку за счет

увеличения количества одновременно запущенных экземпляров. Как правило, для одновременного запуска множества экземпляров используется типовое оборудование.

Эластичность позволяет быстро нарастить мощность инфраструктуры, она связана с масштабируемостью приложений, так как решает задачу моментального изменения количества вычислительных ресурсов, выделяемых для работы информационной системы.

Мультитенантность – это один из способов снижения расходов за счёт максимального использования общих ресурсов для обслуживания различных групп пользователей, разных организаций, разных категорий потребителей и т.п.

Самообслуживание. Быстрый вывод нового продукта или услуги в современных условиях сопровождается развертыванием или модификацией информационных систем. Самообслуживание позволяет потребителям запросить и получить требуемые ресурсы за считанные минуты.

Концепция **Интернет вещей** (англ. *internet of things*, IoT) представляет собой систему удаленного взаимодействия физических объектов между собой и/или с внешней средой, которая реализуется при помощи специализированного оборудования, программного обеспечения. Происходит такой обмен данными в режиме реального времени и без непосредственного участия человека [1].

Архитектура Интернет вещей представляет собой сложную экосистему, от маленького датчика до корпоративного облака, где данные

собираются, обрабатываются и превращаются в реальные действия.

Структура Интернета вещей описывается тремя уровнями:

Уровень восприятия (Perception Layer). Физические устройства, которые собирают данные (видео, звук, температуру, влажность и т.п.) из окружающей среды с помощью датчиков и обрабатывают их с помощью контроллеров. В некоторых случаях возможна мгновенная реакция на поступающую информацию: включение/выключение освещения, поворот камеры, перемещение, воспроизведение аудио и т.п.

Уровень сети (Network Layer). Собранная информация передается системам обработки данных с помощью технологий проводной и беспроводной связи: Ethernet, Wi-Fi, 5G, NB-IoT, ZigBee, LoRaWAN, Bluetooth и т.п.

Уровень приложений (Application Layer). Переданная информация обрабатывается прикладными инструментами – приложениями на удаленных серверах. Для этих целей обычно используют инфраструктуру облачных провайдеров.

Базовыми технологическими элементами Интернет вещей являются:

1. Устройства. К ним относятся самые разные «вещи» – от маленьких микрофонов до крупных машин. Вещи отличаются формами, они различны и по технологической сложности. Все зависит от задачи, которую они выполняют в рамках IoT. Почти любой

объект можно сделать подобным функциональным устройством, если добавить ряд нужных для этого элементов.

2. Программное обеспечение (ПО) является агрегаторным элементом «оживляющим» устройства и среду. Благодаря ему устройства называются умными. ПО собирает сведения, связывается с облаком, интегрирует устройства и анализирует данные в реальном времени. Также оно обеспечивает взаимодействие с системой IoT. ПО работает через специальные протоколы, которые задействованы в средах IoT.
3. Обеспечения подключения умных устройств и обеспечения взаимодействия между ними осуществляется по средствам различных коммуникаций. Выбор подходящих коммуникаций – один из важных моментов при создании каждой системы. От коммуникаций зависят способы отправки и получения сведений из облака, способы связи с другими устройствами.
4. Платформа – это место, которое собирает и обрабатывает сведения, а после в удобной форме передает их. В качестве платформы можно выбрать облако или локальный сервер. Это зависит от требований проекта и иных факторов: архитектуры, набора технологий, инструментов, которые выполняют определенные функции и взаимодействуют с другими компонентами.
5. Безопасность. Обеспечение защиты информации циркулирующей в системе Интернет



Рис. 5. Области применения интернет вещей

вещей и контроль за вводом ложной обеспечивается программными средствами устройств, платформ и средствами коммуникаций. Учитывая масштаб и сложность интернета вещей, устройства интернета вещей, как правило, подвержены кибератакам и утечкам данных. Производители серьезно относятся к этой проблеме и работают над обеспечением безопасности пользователей.

IoT находит практическое применение не только в создании умного дома, но и в торговле, здравоохранении, энергетике, организации работы транспортных магистралей, в промышленном производстве (iiot – Industrial Internet of Things), в логистике (рис. 5). Своевременная информация о состоянии какой-либо системы помогает повысить её эффективность и безопасность.

Интернет вещей охватывает основные отрасли глобальной инфраструктуры:

- Жилищная сфера (умным домом). Поддержка комфортных условий внутри жилых помещений с помощью оборудования для анализа и изменения состояния внутренней среды.
- Промышленность. Обслуживание производственной среды и оптимизация процессов создания конечного продукта.
- Энергетика. Распределение энергии, учет ресурсов и контроль состояния электросетевой инфраструктуры.

- Сельское хозяйство. Оптимизация ресурсов для повышения урожайности и качества сельскохозяйственных изделий.
- Логистика. Обеспечение прозрачности цепочек поставок, контроль условий перевозок, а также отслеживание транспорта и грузов в режиме реального времени.
- Здравоохранение. Непрерывный мониторинг и дистанционная диагностика пациентов для улучшения качества лечения и ухода.

Баланс положительных и отрицательных сторон – не исключительное свойство Интернета вещей. Это касается любой технологии, отрасли или продукта. С одной стороны, IoT-решения открывают широкие возможности для автоматизации процессов и оптимизации ресурсов. С другой стороны, они требуют учета рисков в области безопасности, конфиденциальности и стандартизации.

Тем не менее, при грамотном проектировании и продуманной архитектуре IoT-системы могут существенно повлиять на развитие элементов систем военной связи.

Спутниковая связь – один из видов космической радиосвязи, основанный на использовании в качестве ретрансляторов искусственных спутников Земли, как правило специализированных спутников связи [2, 3]. Спутниковая связь осуществляется между земными станциями, которые могут быть как стационарными, так и подвижными.



Рис. 6. Перспективная тенденция по созданию низкоорбитальных систем связи со смартфонами D2D

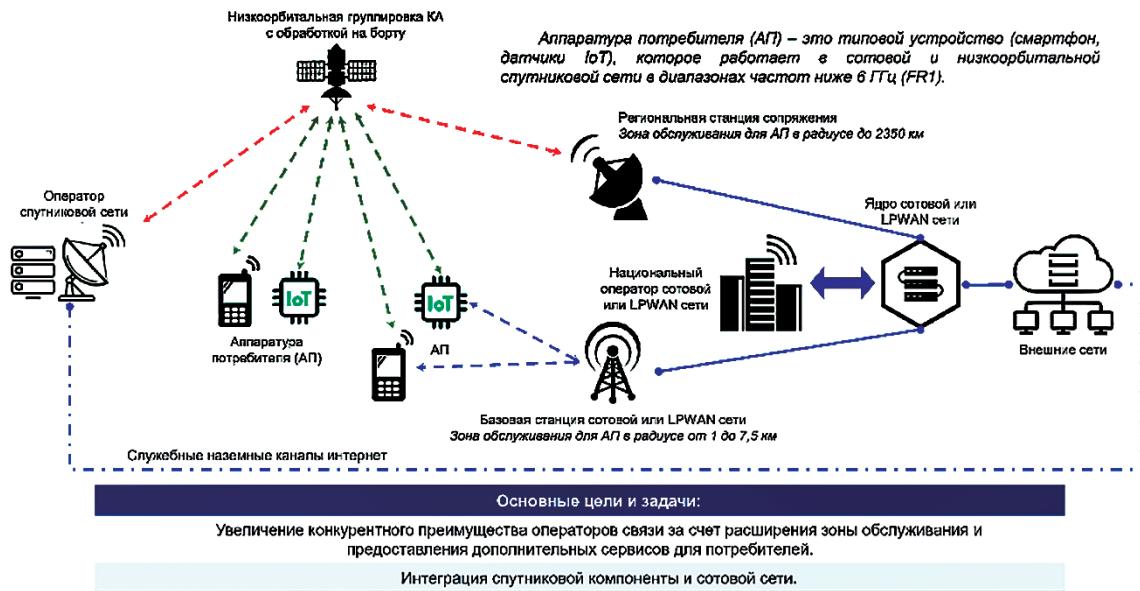


Рис. 7. Архитектура бесшовной низкоорбитальной сети D2D

В настоящее время в связи со стремительным развитием сети спутниковой связи на низкой околоземной орбите (LEO) Starlink (США), которая по сути осуществила революцию по организации спутниковой связи и обеспечению высокоскоростной связи пользователей в любой точке мира, технологически ведущие страны мира стали уделять особое внимание развитию данных систем, в том числе и в России (см. рис. 6).

Группировки LEO могут развертываться для предоставления широкополосного доступа в интернет или развития IoT-систем. Кроме того, спутники LEO могут обеспечивать транзитные каналы для услуг сотовой связи с применением технологии Direct-to-Device (D2D) «сети с прямым подключением устройств» (рис. 7). Следует отметить, что в понятие D2D входят системы, предусматривающие прямую связь спутника как со смартфоном (например, AST Mobile, Lynk Global, SpaceX) в сотовых сетях, так и с устройствами IoT (Lacuna, «Марафон IoT» и др.) для работы в сетях LPWAN.

Причем в смартфоне обеспечена возможность работы в сети на основе технологии Интернета вещей NB-IoT.

Основными перспективными технологиями спутникового IoT можно считать LoRa/LoRaWAN и NB-IoT.

Анализ аналитических материалов [4,5] показывает, что низкоорбитальные системы D2D, в том числе с целевой функцией IoT, – это новый тренд в спутниковой связи. Их реализация создаст новый сегмент спутниковой связи

за счет организации бесшовных глобальных сетей.

Следует особо отметить, что системы D2D – это не системы спутникового широкополосного доступа. Скорости каналов «вниз» при работе со смартфоном не превышают десятка мегабит в секунду, а «вверх» в разы меньше. В ряде случаев, например для сервисов IoT, эквивалентные скорости каналов требуются не более десятков кбит/с. Однако в спутниковых системах IoT достигается новое качество, недоступное для наземных сетей, – предоставление различных сервисов, требующих приближения передачи информации к реальному времени.

Квантовые технологии определяют развитие отрасли науки, связанной с реализацией принципиально новых методов инфотелекоммуникации и вычислений (квантовые вычисления, квантовые устройства, квантовые коммуникации) (рис. 8).

Представление квантовой сети заключается в улучшении имеющихся телекоммуникационных технологий за счёт квантовых коммуникаций между любыми двумя точками. Для достижения этой цели создается сетевой стек с учётом принципиально новых свойств квантовой запутанности.

Квантовые сети – это распределенные системы квантовых устройств, использующие фундаментальные явления квантовой механики, такие как суперпозиция, запутанности и квантовые измерения, для достижения возможностей, выходящих за рамки классических

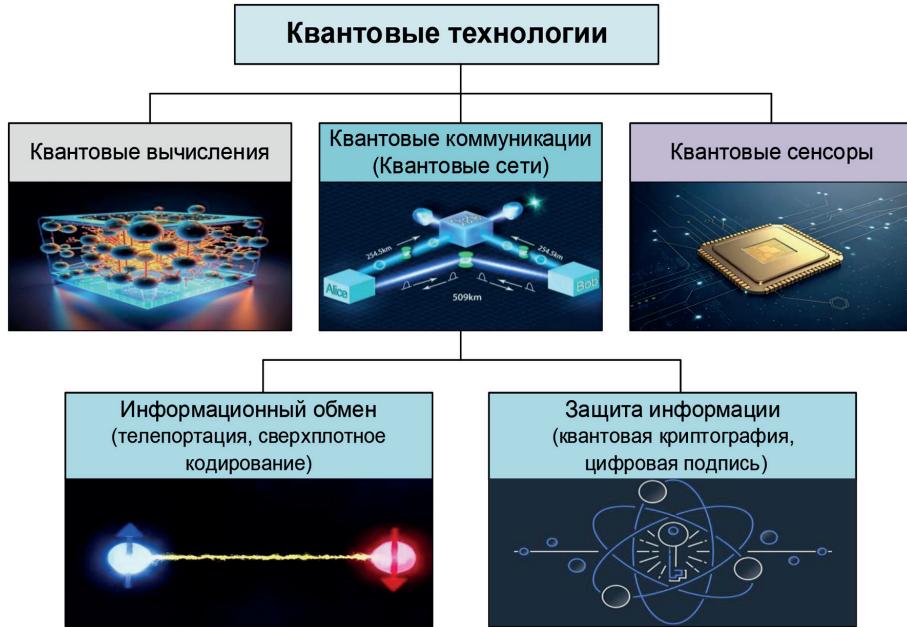


Рис. 8. Квантовые технологии

(не квантовых) сетей. В зависимости от стадии развития квантовой сети такие устройства могут варьироваться от простых фотонных устройств, способных единовременно подготавливать и измерять единственный квантовый бит (кубит – qubit), до крупномасштабных квантовых компьютеров [6]. Квантовые сети предназначены не для замены классических сетей, а скорее для формирования гибридных сетей, поддерживающих новые возможности, которые без этого не реализовать. Наиболее известное применение квантовой связи – квантовое распространение ключей (QKD, Quantum Key Distribution), может создавать и распространять пару симметричных ключей шифрования так, что безопасность всего процесса опирается на законы физики. Небольшие сети с QKD уже развернуты на небольших (около 100 км).

Парадигма квантовых сетей предлагает ещё ряд приложений в дополнение к квантовой криптографии, таких как распределенные квантовые вычисления, защищённые квантовые вычисления в облаке, измерительные сети с квантовым улучшением высокоточные телескопы с длинной базой. Эти приложения гораздо требовательней, чем QKD, и сети, способные их поддерживать, пока находятся в зачаточном состоянии. Лишь недавно была реализована полностью квантовая сеть с множеством узлов, способная передавать, принимать и обрабатывать распределенную квантовую информацию [7].

Квантовые технологии, основанные на ее необычных свойствах, в ближайшем будущем повлияют на основы и дальнейшее развитие систем связи, а сама теория квантовой информации кардинально изменит современные взгляды научного сообщества на основу системы информационной безопасности, что является весьма важным для военных сетей и системы связи ВС РФ. Очевидно, что практическая реализация квантовой системы связи ВС РФ представляет собой сложную научно-технологическую проблему, для решения которой потребуется проведение продолжительных междисциплинарных исследований.

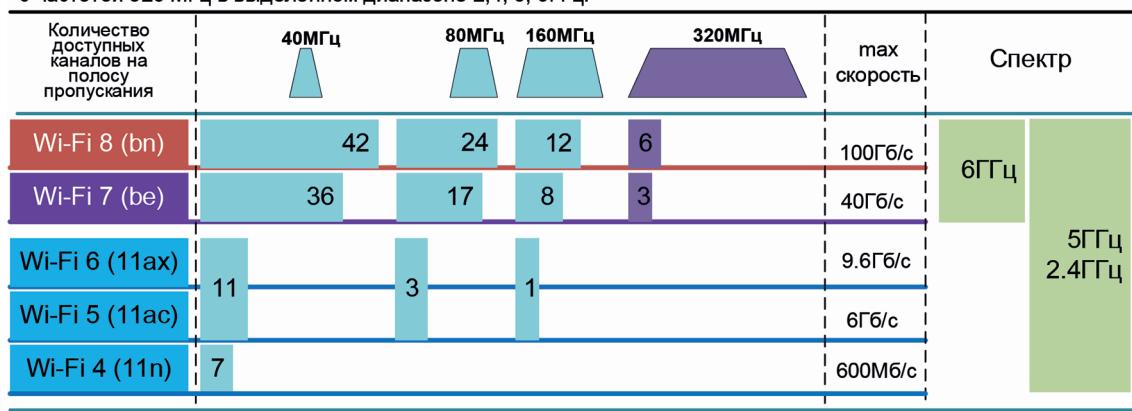
Новые поколения беспроводной связи Wi-Fi 7/Wi-Fi 8.

2025-й год является годом глобального внедрения Wi-Fi 7 (стандарт IEEE 802.11be). Разработчики обещает увеличение максимальной скорости передачи данных до 46 Гбит/с, это в 13 раз выше скорости у Wi-Fi 5 и почти в пять раз – у Wi-Fi 6. Wi-Fi 7 часто отводят роль катализатора цифровой трансформации, фундаментально меняющего то, как люди и бизнес взаимодействуют в беспроводном пространстве, см. рис. 9, а также⁴.

Основными особенностями Wi-Fi 7 являются: Одновременная работа в нескольких диапазонах на основе применения технологии Multi-Link Operation (MLO). Устройства

⁴ Информационный портал о Wi-Fi: [Электронный ресурс]. URL: <http://wificonnect.ru> (дата обращения: 04.01.2026)

Wi-Fi 7/8 удваивает доступную полосу пропускания по сравнению с Wi-Fi 6, предлагая три сверхшироких канала с частотой 320 МГц в выделенном диапазоне 2,4; 5; 6ГГц.



Высокое канальное уплотнение

В сочетании с новой пропускной способностью канала 320 МГц 4K QAM обеспечивает пользователям скорость в 2.4 раза большую, чем у Wi-Fi 6

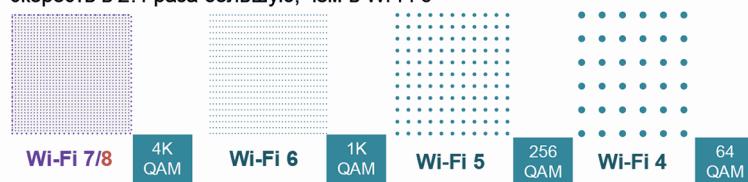


Рис. 9. Сравнительные характеристики Wi-Fi

на предыдущих стандартах могли переключаться между диапазонами (например, между 2,4, 5 и 6 ГГц), но работали только в одном из них. Wi-Fi 7 позволяет использовать сразу три диапазона одновременно. Это делает соединение стабильнее и быстрее – особенно в условиях, когда один из каналов перегружен. Технология позволяет системе динамически выбирать оптимальный путь для каждого пакета данных, учитывая текущую загруженность каналов, качество сигнала и приоритет трафика.

Новая ширина канала. Wi-Fi 7 поддерживает ширину канала до 320 МГц в диапазоне 6 ГГц – в два раза шире, чем у Wi-Fi 6. Через такой канал может проходить больше данных за единицу времени, как следствие, возрастает производительность.

Плотная упаковка данных. Wi-Fi 7 использует более эффективную модуляцию сигнала – 4096-QAM. Каждый пакет передаёт больше информации – 12 бит вместо 10, как это реализовано в Wi-Fi 6. Это увеличивает скорость передачи, особенно на коротких расстояниях, где сигнал стабилен. Но чем более зашумлён эфир, тем менее эффективно работает технология.

Эффективное использование спектра. В Wi-Fi 6 был реализован механизм OFDMA –

он делит канал на множество подканалов (Resource Units – RU), чтобы обслуживать сразу несколько клиентов. Но в случае помех эффективность падала – приходилось использовать менее загруженные, но меньшие по объёму подканалы. Wi-Fi 7 решает эту проблему с помощью технологии Multi Resource Units (MRU). Она позволяет комбинировать сразу несколько отдельных подканалов. Это увеличивает гибкость в распределении ресурсов и позволяет поддерживать высокую скорость даже в условиях загруженного эфира.

Поддержка MU-MIMO 16×16. Wi-Fi 7 расширяет возможности технологии MU-MIMO в сравнении с Wi-Fi 6, который предлагает MU-MIMO 8×8. Технология позволяет более эффективно использовать доступную пропускную способность, распределяя её между множеством клиентов без существенной деградации производительности для каждого отдельного устройства.

Поддержка большего количества устройств. Wi-Fi 7 оптимизирован для работы в условиях высокой плотности устройств. Он позволяет подключать и обслуживать гораздо больше устройств одновременно без потери производительности. Это особенно актуально для умных домов и городов, где количество IoT-устройств постоянно растёт.

Wi-Fi 8 (IEEE 802.11bn Ultra High Reliability), чей релиз состоялся 2025 года, обещает революционизировать мир беспроводных технологий, предлагая беспрецедентную теоретическую максимальную скорость в 100 Гбит/с.

Ключевой аспект нового стандарта Wi-Fi 8 не пиковая пропускная способность, а эффективная пропускная способность, а также повышение стабильности работы, сокращение задержек и обеспечение более плавной работы в среде с большим количеством подключённых устройств.

Направление развития Wi-Fi 8 определяют две основные тенденции.

Во-первых, это растущая экосистема персональных устройств, таких как очки дополненной реальности и медицинские мониторы нового поколения, которым требуется беспроводное соединение с другими устройствами поблизости с минимальной задержкой.

Во-вторых, растёт популярность систем на базе искусственного интеллекта, которые зависят от быстрого и надёжного доступа к периферийным или облачным вычислительным ресурсам.

В совокупности эти тенденции выводят локальные сети, в том числе Wi-Fi-роутер или даже мобильный 5G-роутер, на территорию, для которой они изначально не предназначались. Wi-Fi 8 позиционируется как базовый уровень подключения, который будет лежать в основе этих всё более динамичных систем, чувствительных к задержкам.

В отличие от обычного удлинителя Wi-Fi, который просто расширяет зону покрытия сигнала, новый стандарт переосмысливает принципы совместной работы точек доступа, роуминга устройств и сохранения качества сигнала на границах зон покрытия.

В Wi-Fi 8 осуществляется усовершенствование технологии MU-MIMO и OFDMA, для эффективности сетей в густонаселенных районах, что может стать ключевым фактором в развитии инфраструктуры будущего, способной поддерживать растущие потребности в высокоскоростной и надежной беспроводной связи.

Еще дальше в будущее заглядывает разрабатываемый стандарт IEEE 802.11bf или Wi-Fi Sensing. Его особенность использование не только связи, но и локации, обнаружение объектов и людей при помощи измерения характеристик Wi-Fi сигналов.

Потенциальные применения Wi-Fi Sensing:

- автоматическое управление освещением, климатом, мультимедиа в зависимости от присутствия и перемещения людей в помещениях;
- охранные системы, обнаруживающие проникновение в здание;
- отслеживание жизненных показателей, дыхания, пульса с целью медицинской диагностики;
- помочь людям с ограниченными возможностями в ориентировании и управлении устройствами без контактных датчиков;
- аналитика поведения покупателей в магазинах, посетителей в музеях, пассажиров в аэропортах.

Wi-Fi Sensing предлагает широкий спектр возможностей для зондирования с использованием Wi-Fi, охватывая частотные диапазоны от 1 ГГц до 7,125 ГГц для основных сервисных интерфейсов, а также частоты выше 45 ГГц для специализированных применений.

Особенно примечательна технология на частоте 60 ГГц, которая обещает обеспечить высокоточное отслеживание и разрешение, открывая новые горизонты для таких приложений, как распознавание жестов в играх и усовершенствованный удаленный мониторинг состояния здоровья, что демонстрирует потенциал стандарта для революционных изменений в различных сферах применения Wi-Fi.

Стандарт IEEE 802.11bf планируется утвердить в 2025 году. А первые устройства и приложения, использующие Wi-Fi Sensing, могут появиться к 2030 году.

Wi-Fi остается одной из самых динамично развивающихся и востребованных ИТ-технологий, следовательно она должна на постоянной основе рассматриваться на применимость в сетях военной связи.

Сети с искусственным интеллектом

Современная телекоммуникационная отрасль переживает масштабную цифровую трансформацию в связи с ростом количества устройств, подключенных к сети, с учетом активного развития интернета вещей (IoT) и стремительного увеличения объема передаваемых данных, требуют новых подходов к управлению сетевой инфраструктурой. Решение данных задач может эффективно осуществляться с использованием искусственного интеллекта, при этом предлагается

использовать четыре основных технологии (рис. 10):

1. Машинное обучение (ML, Machine Learning) [8].
2. Глубокое обучение (DL, Deep Learning) [9].
3. Обработка естественного языка (NLP, Natural Language Processing) [10].
4. AIOps (Artificial Intelligence for IT Operations).

Несмотря на схожесть решаемых задач, данные технологии имеют различия, которые могут дополнять, так и выполнять задачи обособленно друг от друга. Отличия технологий заключаются в:

- Извлечении признаков. В машинном обучении это требует ручного вмешательства, в то время как глубокое обучение способно

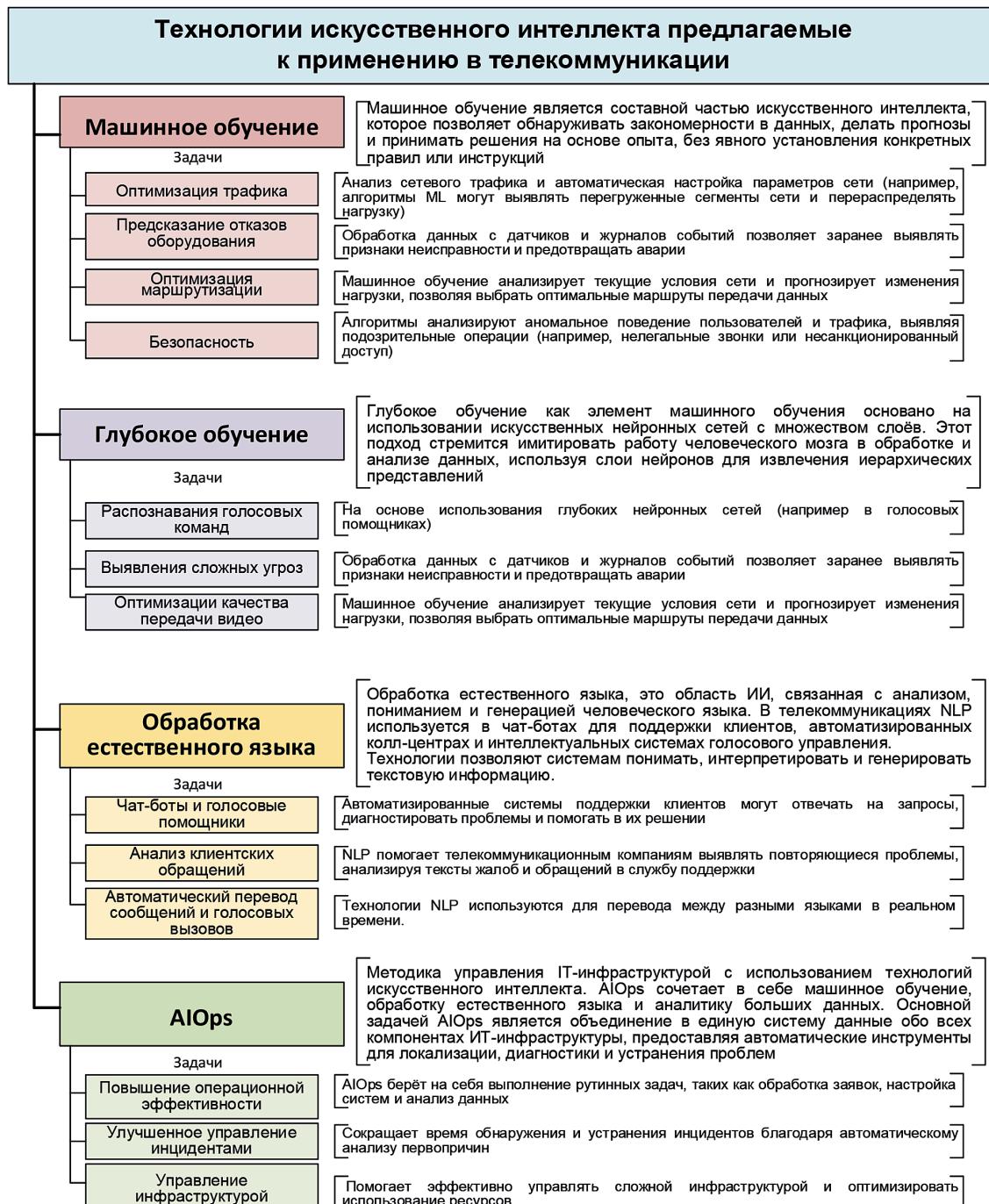


Рис. 10. Технологии искусственного интеллекта, предлагаемые к применению в телекоммуникации

- автоматически извлекать признаки на разных уровнях абстракции, что позволяет моделям обучаться более сложным представлениям.
- **Объёме данных.** Машинное обучение может быть эффективным с небольшими объёмами данных, в то время как глубокое обучение чаще требует больших объёмов данных для эффективного обучения из-за большого числа параметров.
 - **Вычислительных ресурсах.** Машинное обучение может быть реализовано на менее мощных вычислительных структурах, в то время как глубокое обучение обычно требует мощных вычислительных ресурсов, таких как графические процессоры (Graphics Processing Unit – GPU) или тензорные процессоры (Tensor Processing Unit – TPU).
- Следовательно, ML позволяет системам обучаться на данных и делать прогнозы без явного программирования. Машинное обучение использует алгоритмы для поиска закономерностей в данных. В телекоммуникациях ML в основном применяется для предсказания нагрузки на сеть, выявления аномалий и автоматизации управления трафиком. Глубокое обучение, в свою очередь, является более сложным видом машинного обучения, основанный на многослойных нейронных сетях. Оно особенно полезно для работы с большими объемами данных и сложными зависимостями. В телекоммуникациях DL применяется для предсказания отказов оборудования, распознавания голоса в интеллектуальных ассистентах и анализа сетевого трафика. NLP отвечает за работу с текстом и голосом
- AIOps сочетает ML, DL и анализ больших данных для мониторинга, предсказания сбоев, обнаружения аномалий и управления инцидентами в телекоммуникационных сетях. Оно помогает операторам быстрее реагировать на проблемы, минимизируя время простоя и повышая стабильность сети.
- Таким образом, ML и DL – это методы обучения ИИ, NLP отвечает за работу с текстом и голосом, а AIOps объединяет ИИ-алгоритмы для автоматизации управления ИТ-инфраструктурой.
- Положительные аспекты применения искусственного интеллекта:
- повышение эффективности обработки данных за счет автоматизации рутинных операций;
 - существенное снижение затрат на обслуживание сетевой инфраструктуры;
 - повышение устойчивости сетей за счет раннего выявления неполадок;
 - адаптивность и масштабируемость сетей в условиях роста нагрузки;
 - снижение времени реакции на инциденты.
 - отрицательные стороны применения:
 - высокая стоимость разработки и внедрения ИИ-решений;
 - зависимость от качества обучающих данных и возможность ошибок модели;
 - потеря прозрачности в принятии решений (проблема «чёрного ящика»);
 - угрозы безопасности и возможные уязвимости ИИ-систем.
- ИИ уже сегодня играет ключевую роль в повышении эффективности телекоммуникационных сетей. Отечественные и зарубежные примеры демонстрируют широкий потенциал технологий ИИ в обеспечении устойчивости, предсказуемости и масштабируемости сетевой инфраструктуры.
- Несмотря на успешное применение искусственного интеллекта отдельными «гражданскими» компаниями, внедрение ИИ в систему военной связи, потребует изменение нормативно-правовой базы, оснащение мощными вычислительными ресурсами и развитие профессиональных компетенций у специалистов.

Технологии скоростного доступа FTTx

Название технологии произошло от англ. *fiber to the x* – оптическое волокно до точки X. Это общий термин для любой широкополосной телекоммуникационной сети передачи данных, использующей в своей архитектуре волоконно-оптический кабель в качестве последней мили для обеспечения всей или части абонентской линии [11]. Термин является собирательным для нескольких конфигураций разворачивания оптоволокна – начиная от FTTN (до узла) и заканчивая FTTD (до рабочего стола). Технология FTTx разработана для передачи данных через оптические кабели (рис. 11). При этом, FTTx означает использование оптического волокна для передачи данных к конечной точке в процессе предоставления услуг. Кроме этого, возможен вариант, при котором оптика прокладывается непосредственно до абонентского устройства.

В технологию семейства FTTx включены различные виды архитектур:

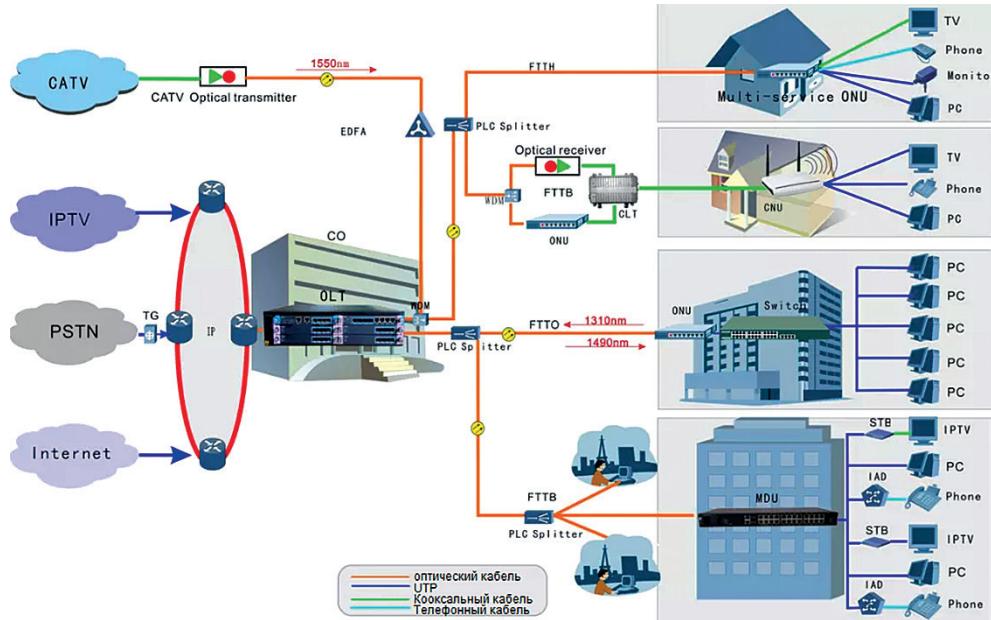


Рис. 11. Технологии скоростного доступа FTTx

- FTTN (*Fiber to the Node*) – волокно до сетевого узла;
- FTTC (*Fiber to the Curb*) – волокно до микрорайона, квартала или группы домов;
- FTTB (*Fiber to the Building*) – волокно до здания;
- FTTH (*Fiber to the Home*) – волокно до жилища.

Основная задача данной технологии – доставлять пакеты разнообразных услуг и сервисов. В качестве примера можно назвать популярный набор, получивший название тройной услуги (*Triple Play*) – доступ к сети Интернет, телефония, телевизионное вещание и доставка видео. Стремительно растущая потребность во всех трех видах услуг позволяет уже сейчас говорить о неизменности тенденции, в соответствии с которой объемы строительства FTTx будут расти на протяжении многих лет.

Программно-определяемая сеть SDN

Программно-определяемые сети (SDN, от англ. *Software-Defined Networking*) — инновационный подход к построению и управлению сетевой инфраструктурой. SDN радикально меняет традиционный подход к управлению сетями, делая их более гибкими, управляемыми и адаптируемыми к требованиям потребителей услуг связи.

Программно-определяемая сеть обеспечивает управление сетевой инфраструктурой

с помощью программных решений, отделённых от физического уровня. В традиционных сетях управление и передача данных связаны в единый процесс, что усложняет настройку и масштабирование сети. SDN меняет эту парадигму, позволяя централизованно управлять сетью с помощью программного контроллера, который отделён от непосредственно передающего оборудования.

SDN разделяет управление и передачу данных, делая архитектуру сети более гибкой и управляемой. Основные компоненты SDN:

Контроллер SDN, который отвечает за управление всей сетью. Контроллер обрабатывает запросы приложений и управляет сетевой инфраструктурой в реальном времени.

Инфраструктурный уровень. Состоит из физических или виртуальных коммутаторов и маршрутизаторов, которые непосредственно выполняют передачу данных.

Уровень приложений. Здесь находятся приложения и сервисы, которые обращаются к контроллеру для выполнения сетевых операций, таких как управление пропускной способностью или распределение нагрузки.

SDN используется в различных отраслях и сценариях, где необходимы гибкость, масштабируемость и управление сетевой нагрузкой:

Центры обработки данных, где помогает управлять сетью и трафиком, снижая затраты на оборудование и эксплуатацию. SDN активно используется для управления

распределёнными ресурсами, увеличения пропускной способности и контроля нагрузки.

Корпоративные сети. Компании, которым требуется безопасный и масштабируемый доступ, используют SDN для гибкого управления сетью. SDN позволяет централизованно управлять сетью и контролировать доступ к критически важным данным.

Поставщики облачных услуг. SDN позволяет облачным провайдерам, гибко управлять ресурсами для обеспечения бесперебойного доступа к данным.

Телекоммуникационные сети и 5G. Для обеспечения высокой пропускной способности и низкой задержки SDN помогает управлять телекоммуникационными сетями, обеспечивая надёжное и безопасное соединение в сетях 5G.

Применение SDN также способствует усилению безопасности, так как контроллер может динамически применять политики безопасности.

Развитие SDN связано с рядом современных технологий, таких как IoT, 5G, и искусственный интеллект. С ростом интернет-вещей и развитием 5G возникает необходимость в гибких и масштабируемых сетях, способных выдерживать растущий объём данных.

SDN играет важную роль в построении «умных сетей» (smart networks), где искусственный интеллект используется для анализа данных о трафике и принятия решений. Применение машинного обучения позволяет прогнозировать нагрузку и автоматизировать настройку сети.

Программно-определяемые сети (SDN) представляют собой революционное решение для управления современными сетями. Благодаря SDN обеспечивается гибкость, снижают затраты и повышают уровень безопасности. В будущем SDN будет играть важную роль в таких областях, как 5G и IoT, способствуя внедрению инноваций и улучшению производительности.

Системы когнитивного радио

Системы когнитивного радио (СКР) [12] в настоящее время активно развиваются и востребованы мировыми производителями систем связи и телекоммуникаций. Согласно рекомендациям МСЭ-Р М.2330-0 «Когнитивные системы радиосвязи в наземной подвижной службе» радиоустройства с программно-определяемыми свойствами

и характеристиками (SDR, Software Defined Radio) признаны передовой технологией для реализации СКР⁵. SDR способны осуществлять радиомониторинг спектра, автономно и динамически изменять собственные параметры работы и могут адаптироваться к новым технологиям, тем самым реализовывая необходимые для разработки СКР функции: мониторинг, адаптация, реконфигурация.

Международный союз электросвязи использует следующее определение термина СКР: «Система когнитивного радио – радиосистема, использующая технологию, позволяющую этой системе получать знания о своей среде эксплуатации и географической среде, об установленных правилах и о своем внутреннем состоянии; динамически и автономно корректировать свои эксплуатационные параметры и протоколы, согласно полученным знаниям, для достижения заранее поставленных целей; и учиться на основе полученных результатов». Следовательно, СКР обладает двумя отличительными возможностями: реконфигурирование или самоконфигурирование и интеллектуальная адаптация. Реконфигурация СКР это процесс, при котором радиоустройство программным образом изменяет свои эксплуатационные параметры и протоколы для наиболее эффективной и надежной передачи и приема информации, даже при отсутствии запроса от пользователя устройства. Под интеллектуальной адаптацией подразумевается способность устройства адаптироваться через какую-либо форму обучения, не являясь заранее запрограммированным для этого. Из этого следует, что для работы СКР необходимы как минимум следующие возможности:

- **Реконфигурируемость.** Способность устройства быстро изменять форму сигнала и другие рабочие параметры, например стандарт связи, для взаимодействия с другими системами или улучшения качества связи.
- **Мониторинг.** Способность постоянного наблюдения и измерения явлений и процессов, происходящих в окружающей среде. Мониторинг необходим радиоустройству для изменения собственных параметров работы на основании статистики занятости спектра.
- **Адаптируемость и обучаемость.** Способность анализировать влияние явлений

⁵ Рекомендация МСЭ-Р М.2330-0 Когнитивные системы радиосвязи в наземной подвижной службе, 11/2014.

и процессов, распознавать закономерности и подстраивать параметры работы устройства для новых условий эксплуатаций в результате машинного обучения.

Соответствующие возможности становятся доступными с помощью использования интерфейсов программных приложений управления в рамках концепции реконфигурируемых радиосистем. Под реконфигурируемой радиосистемой понимаются радиоустройства с программно-определенными свойствами и характеристиками (SDR). SDR – это радиопередатчик/радиоприемник или их совокупность, использующие программную технологию, позволяющую устанавливать или изменять рабочие радиочастотные параметры такие как диапазон частот, тип модуляции, кодирование с исправлением ошибок, сжатие или выходную мощность [13]. SDR позволяют предоставлять различные виды услуг для пользователей, так как способны изменять стандарты связи в любое время, поскольку последние реализуются на программном уровне.

В качестве основных характеристик SDR выделяют:

- программное управление одним или несколькими приемопередающими радиомодулями;
- радиочастотные компоненты с большим динамическим диапазоном;
- высокоскоростной тракт analogово-цифрового и цифро-аналогового преобразования с большим динамическим диапазоном;
- процессор управления, обладающий достаточной вычислительной мощностью;
- специализированный цифровой тракт для фильтрации сигналов.

На практике SDR представляет собой радиоустройство, в котором основные функции радиоустройства (анalogово-цифровое и цифро-аналоговое преобразование, фильтрация и т.д.) реализуются программными модулями

работающими на базе встроенных вычислительных устройств. С использованием SDR существует возможность выбирать различные системы связи для получения требуемой услуги, так как есть возможность работать с различными стандартами связи. Для предоставления пользователю требуемой услуги связи SDR в автоматическом или полуавтоматическом режиме выбирает требуемый частотный диапазон, стандарт радиосвязи, а также программное приложение. Основную концепцию реализации SDR можно применять как для построения абонентских устройств, так и базовых станций. SDR позволяет проводить радиомониторинг спектра, отслеживать и обрабатывать передачу информации на физическом и канальном уровнях нескольких систем радиосвязи одновременно, тем самым позволяя реализовать необходимые для СКР функции (мониторинг, адаптация, реконфигурация). Также SDR могут адаптироваться к новым технологиям, так как обладают гибкими программными настройками, что невозможно для существующих радиосистем из-за их аппаратной ограниченности. В качестве SDR может рассматриваться абонентский терминал с программным управлением на основе загружаемой операционной системы (смартфон) или аналогичное устройство.

В настоящее время SDR используются для реализации простых радиомодемов, в частности GSM, WiFi, WiMax. Со временем SDR станет основной частью системы когнитивного радио.

Заключение

Применение перспективных технологий в интересах военной связи будет способствовать более продуктивному и безопасному информационному взаимодействию органов управления. Обеспечивая высокую управляемость войск органами управления независимо от территориального рассредоточения, выполняемых задач и оперативной обстановки.

Литература

1. Иванов В. Г. Основы построения и оценки эффективности функционирования системы связи специального назначения в международном вооруженном конфликте на основе многосферной и конвергентной структуры ее элементов: Монография. – СПб.: ПОЛИТЕХ, 2023. – 298 с.
2. Анпилогов В., Пехтерев С., Шишлов А. Анализ терминалов, планируемых для применения в системах Starlink и OneWeb // Технологии и средства связи. 2022. № S1. С. 30–36.
3. Урличич Ю. М. Анализ низкоорбитальных спутниковых систем широкополосного доступа на примере развития Starlink // Электросвязь. 2024. № 7. С. 14–19.

4. Анпилогов В. Р., Нгуен Д. А. Анализ совместимости спутниковых сетей IoT с устройствами SRD и LPWAN в диапазонах частот 868/915 МГц // Электросвязь. 2020. № 1. С. 37–43.
5. Анпилогов В. Р., Гриценко А. В. Спутниковый IoT – новые системы и новый рынок // CONNECT. № 5–6, 2023. С. 76–80.
6. Колесников П. О., Голубничий А. А. К вопросу о квантовых компьютерах их развитии и современном состоянии // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №1/2022. С 754–762.
7. Кузнецов В. М. Квантовая механика. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. 291 с.
8. Принс С. Машинное обучение. От основ до продвинутых моделей / С. Принс; – БОМБОРА, 2025. – 610 с.
9. Гудфеллоу Я. Глубокое обучение / Я. Гудфеллоу, И. Бенджио, А. Курвилль; – ДМК Пресс, 2017. – 654 с.
10. Хобсон Л. Обработка естественного языка в действии / Л. Хобсон, Х. Ханнес, Х. Коул: – Питер, 2021. – 576 с.
11. Иванов В. Г. Теория и практика построения и обеспечения функционирования системы связи специального назначения с учётом технологического развития и опытов вооруженных конфликтов: Монография. – М.: Красная Звезда, 2025. – 303 с.
12. Волков, Л. Н. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики / Л. Н. Волков, М. С. Немировский, Ю. С. Шинаков. – Москва.: Эко-Трендз, 2005. – 392 с.
13. Проскуряков, В. Когнитивные радиосистемы в сетях тактического назначения / В. Проскуряков // Электронные компоненты. – 2014. – № 3. – С. 36–38.

INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN TELECOMMUNICATIONS AND THEIR IMPACT ON MILITARY COMMUNICATIONS

Ivanov V. G.⁶, Lukyanchik V. N.⁷, Kuzin P. I.⁸

Keywords: *information technology, 5G and 6G standards, cloud computing, Internet of Things (IoT), satellite communications, quantum technologies.*

Abstract

The purpose of the work: *to analyze innovative technologies in telecommunications, to identify the most popular ones and to assess their impact on military communications.*

Research method: *the methodological basis of the research is the general theory of systems using the methods of system analysis and the sampling method based on the correspondence of parameters that satisfy military communication and military command and control systems.*

Results of the study: *ten information and telecommunication technologies are considered and selected, which, in the authors' opinion, will have a significant impact on the military communication system. These include: 5G/6G mobile communications, in which a significant transformation and transition to new formats are being carried out; cloud computing, which will ensure the development of not only military communications; Internet of Things technologies, which ensure the interaction of physical objects with each other and/or with the external environment, with the use of specialized equipment, software; satellite communications in low Earth orbit, providing broadband Internet access, the development of IoT systems and cellular communication services using Direct-to-Device (D2D) technology; quantum technologies that implement new methods of infotelecommunications and computing; Wi-Fi 7/Wi-Fi 8 wireless technologies, promising a maximum data transfer speed of 13 times faster for Wi-Fi 5 and almost five times faster for Wi-Fi 6. Wi-Fi 7; Networks with artificial intelligence; FTTx high-speed access technologies of a broadband telecommunications data transmission network, which uses fiber optic cable as the last mile in its architecture to provide all or part of the subscriber line; Software-defined networks are changing the traditional approach to network management, making them more flexible, manageable and adaptable to the requirements of communication consumers; cognitive radio systems.*

⁶ Vasily G. Ivanov, Dr.S. of Military Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Informatics and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Academy of Civil Protection of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters named after Lieutenant General D. I. Mikhailik. Khimki, Moscow Region. Russia. E-mail: wasj2006@yandex.ru

⁷ Valentin N. Lukyanchik, Ph.D. of Military Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Research Center of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny. St. Petersburg, Russia. E-mail: v-lukyanchik@bk.ru

⁸ Pavel I. Kuzin, Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies, S.M. Kirov St. Petersburg State Forestry University, St. Petersburg, Russia. E-mail: kuzik78@mail.ru

Practical usefulness lies in the review and identification of innovative technologies in telecommunications that will have a significant impact on the development of military communications, the command-and-control system for troops and weapons in the future until 2040.

References

1. Ivanov V. G. Osnovy postroenija i ocenki jeffektivnosti funkcionirovaniya sistemy svjazi special'nogo naznachenija v mezhdunarodnom vooruzhennom konflikte na osnove mnogosfernoj i konvergentnoj struktury ee jelementov: Monografija. – SPb.: POLITEH, 2023. – 298 s.
2. Anpilogov V., Pehterev S., Shishlov A. Analiz terminalov, planiruemyh dlja primenenija v sistemah Starlink i OneWeb // Tehnologii i sredstva svjazi. 2022. № S1. S. 30–36.
3. Urlichich Ju. M. Analiz nizkoorbital'nyh sputnikovyh sistem shirokopolosnogo dostupa na primere razvitija Starlink // Jelektrosvjaz'. 2024. № 7. S. 14–19.
4. Anpilogov V. R., Nguen D. A. Analiz sovmestimosti sputnikovyh setej IoT s ustrojstvami SRD i LPWAN v diapazonah chastot 868/915 MGc // Jelektrosvjaz'. 2020. № 1. S. 37–43.
5. Anpilogov V. R., Gricenko A. V. Sputnikovyj IoT – novye sistemy i novyj rynok // CONNECT № 5–6, 2023. S. 76–80.
6. Kolesnikov P. O., Golubnichij A. A. K voprosu o kvantovyh kompjutera ih razvitiu i sovremennom sostojanii // Nauchno-obrazovatel'nyj zhurnal dlja studentov i prepodavatelej «StudNet» №1/2022. S. 754–762.
7. Kuznecov V. M. Kvantovaja mehanika. – M.: BINOM. Laboratorija znanij, 2015. 291 s.
8. Prins S. Mashinnoe obuchenie. Ot osnov do prodvinutyh modelej / S. Prins; – BOMBORA, 2025. – 610 s.
9. Gudfellow Ja. Glubokoe obuchenie / Ja. Gudfellow, I. Bendzhio, A. Kurvill'; – DMK Press, 2017. – 654 c.
10. Hobson L. Obrabotka estestvennogo jazyka v dejstvii / L. Hobson, H. Hannes, H. Koul: – Piter, 2021. – 576 s.
11. Ivanov V. G. Teorija i praktika postroenija i obespechenija funkcionirovaniya sistemy svjazi special'nogo naznachenija s uchjotom tehnologicheskogo razvitiya i optyov vooruzhennyh konfliktov: Monografija. – M.: Krasnaja Zvezda, 2025. – 303 s.
12. Volkov, L. N. Sistemy cifrovoj radiosvjazi: bazovye metody i harakteristiki / L. N. Volkov, M. S. Nemirovskij, Ju. S. Shinakov. – Moskva. Jeko-Trendz, 2005. – 392 s.
13. Proskurjakov, V. Kognitivnye radiosistemy v setjah takticheskogo naznachenija / V. Proskurjakov // Jelektronnye komponenty. – 2014. – № 3. – S. 36–38.

