

Возможности подвижной связи 6G для организации сетей железнодорожной радиосвязи

П. А. Плеханов

Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I

pavelplekhanov@gmail.com

Д. Н. Роенков

Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I

roenkov_dmitry@mail.ru

Аннотация. Представлены функциональные и технические характеристики сетей подвижной связи 6G в сравнении с сетями предшествующего поколения. Рассмотрены требования к сетям подвижной связи 6G при их использовании на железнодорожном транспорте для обеспечения безопасной передачи данных. Показано, что для различных угроз, которые могут возникать в результате воздействия как самой сети связи, так и внешней среды, должны быть предусмотрены соответствующие меры защиты.

Ключевые слова: подвижная связь, 6G, передача сообщений, безопасность, железнодорожная электросвязь

I. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕТЕЙ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ 6G

Поколения подвижной связи сменяют друг друга примерно раз в десять лет. Начиная с 1980-х гг. появилось пять поколений сетей подвижной связи, каждое из которых все более расширяло возможности для взаимодействия абонентов. Сети подвижной связи шестого поколения 6G, которые к 2030 году должны прийти на смену сетям пятого и предшествующих поколений, позволят реализовать недоступные пока услуги в области инфокоммуникаций для индивидуальных пользователей и организаций, включая железнодорожный транспорт [1].

Перспективный облик сетей подвижной связи шестого поколения 6G (от англ. «generation» – «поколение») был представлен в отчете Сектора радиосвязи Международного союза электросвязи ITU-R M.2516-0 «Будущие технологические тенденции развития систем наземной международной подвижной связи до 2030 года и далее». При этом, концепция сетей 6G определена как IMT-2030 (International Mobile Telecommunications) наряду с предшествующими концепциями сетей третьего (3G) IMT-2000, четвертого (4G) IMT-Advanced и пятого (5G) IMT-2020 поколений. О сетях 6G говорилось уже в 19-м релизе (Release 19) Консорциума по развитию беспроводной связи 3GPP, а также в исследованиях крупнейших мировых производителей телекоммуникационного оборудования (Huawei, Ericsson и др.).

Сегодня можно обозначить следующие основные услуги, недоступные в сетях 5G [2–4] и реализуемые на основе сетей 6G:

- голографическая связь – передача трехмерных изображений из одного или нескольких источников в один или несколько пунктов назначения, что требует комбинации

сверхвысокой скорости передачи данных и сверхнизкой задержки сигнала;

- тактильные Интернет-приложения – передача тактильных ощущений для возможности дистанционных действий, требующих навыков мелкой моторики (например, проведение удаленных ответственных ручных манипуляций), для чего необходима близкая к 100% сквозная надежность сети;
- мультисервисные приложения расширенной реальности XR (Extended Reality), объединяющей возможности виртуальной VR (Virtual Reality), дополненной AR (Augmented Reality) и смешанной MR (Mixed Reality) реальности и требующей сверхточного позиционирования;
- сверхвысокоскоростной доступ к сети в любом месте и в любое время для значительного количества как подвижных, так и стационарных пользовательских устройств за счет большой емкости, устойчивого покрытия, высокой плотности подключения и энергоэффективности.

Реализация указанных и других перспективных услуг в сетях 6G возможна на основе более совершенных технических характеристик [5–7] по сравнению с предшествующими сетями 5G (табл. 1).

Предполагается, что уровень сигнала в сети 6G на границе зоны обслуживания будет на 10 дБ выше, чем в 5G, а емкость (количество пользовательских устройств, которые можно обслужить при прочих равных условиях) – больше в 1000 раз. При этом в экологических целях, средний срок службы аккумуляторной батареи пользовательского устройства сети 6G предполагается равным 20 лет.

ТАБЛИЦА 1. СРАВНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕТЕЙ
ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ 5G И 6G

Технические характеристики		Сети 5G	Сети 6G
Максимальная ширина частотного канала, ГГц		1	100
Спектральная эффективность, (бит/с)/Гц	Пиковая	30	60
	Пользовательская	0,3	3
Пропускная способность зоны обслуживания, (Гбит/с)/кв. м		0,01	1
Энергоэффективность, пДж/бит		не определено	1
Параметры радио-интерфейса	Задержка сигнала, мс	1	0,1
	Джиттер, мкс	не определено	0,1
Скорость передачи	Пиковая	20	1000

Технические характеристики		Сети 5G	Сети 6G
Максимальная ширина частотного канала, ГГц		1	100
Спектральная эффективность, (бит/с)/Гц	Пиковая	30	60
	Пользовательская	0,3	3
Пропускная способность зоны обслуживания, (Гбит/с)/кв. м		0,01	1
Энергоэффективность, пДж/бит		не определено	1
Параметры радиointерфейса данных, Гбит/с	Задержка сигнала, мс	1	0,1
	Джиттер, мкс	не определено	0,1
	Пользовательская	до 0,1	до 100
Плотность пользовательских устройств, млн/кв. км		1	10
Допустимая скорость перемещения пользовательских устройств, км/ч		500	1000
Точность позиционирования, см		10	1
Сквозная надежность услуг, %		99,999	99,99999
Основные услуги (приложения)		eMBB, mMTC, URLLC	MBRLLC, mURLLC, HCS, MPS
Примечание. Джиттер (от англ. «jitter» – «дрожание») – смещение по времени реального сигнала от идеального eMBB – enhanced Mobile Broadband – Расширенная подвижная широкополосная связь mMTC – massive Machine Type Communications – Массовая межмашинная связь URLLC – Ultra-Reliable Low Latency Communication – Сверхнадежная связь с малыми задержками MBRLLC – Mobile Broadband Reliable Low Latency Communication – Подвижная широкополосная надежная связь с малыми задержками mURLLC – massive Ultra-Reliable Low Latency Communication – Массовая сверхнадежная связь с малыми задержками HCS – Human-Centric Services – Услуги, ориентированные на человека MPS – Multi-Purpose Services – Универсальные услуги			

Ориентированные на человека услуги HCS, оказываемые в сетях 6G, должны оцениваться не только на основе стандартных показателей качества обслуживания QoS (Quality of Service) и качества восприятия услуги QoE (Quality of Experience), но также с использованием показателей качества физического опыта человека QoPE (Quality of Physical Experience). К показателям QoS относятся, например, задержка сигнала и скорость передачи данных, к QoE – оценка, выставляемая пользователем за оказанную услугу, а к QoPE – параметры физиологических реакций человека (эмоции, жесты и др.) на услугу. К универсальным услугам MPS сетей 6G относятся услуги связи, вычислений, позиционирования, управления и т. д.

Возможности подвижной связи 6G могут быть реализованы при использовании терагерцового (от 300 ГГц до 3 ТГц) и субтерагерцового (от 100 до 300 ГГц) диапазонов частот, применение в которых радиоэлектронных средств 6G в настоящее время находится в стадии рассмотрения и регулирования на международном и национальном уровнях.

Первоначальной задачей является определение в рамках Международного союза электросвязи конкретных полос радиочастот, планируемых для развертывания сетей 6G. Предполагается, что непрерывная ширина этих полос будет не менее 1 ГГц. Далее следует провести аудит занятости указанных частотных диапазонов различными радиослужбами, предложить способы обеспечения электромагнитной совместимости, а также выполнить работы по переводу отдельных полос частот для последующего их использования сетями 6G – провести конверсию спектра. Также можно использовать возможности шеринга спектра – совместного использования одних и тех же полос радиочастот разными операторами, поскольку спектр, выделенный на индивидуальной основе, некоторыми операторами может использоваться неэффективно.

Принятые решения необходимо закрепить в соответствующей нормативной базе, включая вопросы санитарно-эпидемиологических требований к размещению и эксплуатации радиоэлектронных средств 6G и методов расчета санитарно-защитных зон.

II. ТРЕБОВАНИЯ К СЕТЯМ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ 6G ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Применение подвижной связи 6G на железнодорожном транспорте, в том числе, для решения вопросов автоматизации движения поездов, должно происходить с учетом специальных требований по безопасности [8–11]. Необходимо обеспечить достоверность, целостность, своевременность и упорядоченность передаваемых информационных сообщений.

В соответствии с международным стандартом ИЕС 62280, который содержит требования по безопасной передаче данных в системах железнодорожной электросвязи, для передаваемых информационных сообщений в результате воздействия как самой сети связи, так и внешней среды (физической и антропогенной), могут возникнуть такие угрозы, как повторение сообщения, вставка сообщения, удаление сообщения, переупорядочение сообщений, задержка сообщения, изменение (искажение) сообщения, подмена сообщения. При этом стандартом предусмотрены необходимые меры защиты, которые следует применять для защиты от определенных угроз (табл. 2).

ТАБЛИЦА II. ТРЕБОВАНИЯ ПО БЕЗОПАСНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

Меры защиты	Специальные требования к мерам защиты	Угрозы, в отношении которых целесообразно применение мер защиты
Порядковый номер	Необходимая длина порядкового номера; инициализация порядкового номера; восстановление номера после прерывания потока сообщений	Повторение сообщения, вставка сообщения, удаление сообщения, переупорядочение сообщений
Метка времени	Величина приращения времени; точность приращения времени; размерность таймера; абсолютное значение времени таймера в глобальной системе единого времени; синхронизация таймеров различных компонентов;	Повторение сообщения, переупорядочение сообщений, задержка сообщения

Меры защиты	Специальные требования к мерам защиты	Угрозы, в отношении которых целесообразно применение мер защиты
	задержка между формированием информации и установкой ее метки времени; задержка между проверкой метки времени и использованием информации	
Интервал между сообщениями	Допустимое максимальное время задержки; точность интервала между сообщениями	Задержка сообщения
Идентификация передающего и приемного устройств	Уникальность идентификаторов для всех абонентов в системе передачи данных; соответствие размера идентификатора выделенному для него полю данных	Вставка сообщения *
Квтирование принятого сообщения	Специальные требования не предусмотрены, поскольку наличие обратного канала само по себе не обеспечивает защиты от какой-либо идентифицированной угрозы – этот канал позволяет только организовать такую защиту на прикладном уровне.	Вставка сообщения **, подмена сообщения **
Процедура идентификации сообщений	Процедура идентификации сообщений является составной частью прикладного безопасного процесса, поэтому детальные требования к ней должны быть определены в спецификациях требований по безопасности.	Вставка сообщения **, подмена сообщения **
Код безопасности	Обнаружение ошибок всех заранее предусмотренных типов; заданная вероятность выявления поврежденных сообщений	Изменение (искажение) сообщения ***
Методы криптографии	Обоснованность технических вопросов выбора методов криптографии (производительность криптографического алгоритма, приемлемость длины выбранного ключа, частота изменения ключа, способ физического хранения ключей); обоснованность организационных вопросов выбора методов криптографии (конфиденциальность создания, хранения, распределения и отзыва ключей, управление процессами технической эксплуатации оборудования, экспертиза адекватности криптографических методов в части противодействия риску злонамеренных воздействий на систему передачи данных)	Изменение (искажение) сообщения, подмена сообщения ***
Примечание. * применимо только для идентификатора передающего устройства; обнаруживает вставку только из недопустимого источника; если уникальные идентификаторы не могут быть определены из-за того, что пользователь неизвестен, то следует использовать методы криптографии ** зависит от специфики конкретного приложения *** выбор и применение кодов безопасности и методов криптографии должны осуществляться в соответствии со следующими условиями: наличие или отсутствие возможности управления несанкционированным доступом; тип используемого криптографического кода; наличие или отсутствие изолированности безопасного процесса защиты доступа к системе передачи данных от прикладного безопасного процесса		

Таким образом, использование возможностей подвижной связи 6G должно способствовать активному внедрению в работу различных хозяйств железных дорог [12–15] инноваций, позволяющих повысить эффективность функционирования отрасли и обеспечить необходимый уровень качества и безопасности перевозочных услуг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Плеханов П.А., Роенков Д.Н. Перспективная подвижная связь // Автоматика, связь, информатика. 2024. № 1. С. 16-20.
- [2] Плеханов П.А., Роенков Д.Н. Подвижная связь 5G // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 5. С. 8-12.
- [3] Роенков Д.Н., Плеханов П.А. Технология ММО для подвижной связи 5G // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 8. С. 21-25.
- [4] Роенков Д.Н., Плеханов П.А. Мобильные сети поколения 5G: перспективы применения // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 10. С. 2-7.
- [5] Плеханов П.А. Беспроводные инфокоммуникационные сети на железнодорожном транспорте. СПб.: ПГУПС, 2014. 55 с.
- [6] Плеханов П.А., Роенков Д.Н. Цифровые системы подвижной связи на железнодорожном транспорте. СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2020. 41 с.
- [7] Роенков Д.Н., Плеханов П.А. Системы мобильной связи. Коротковолновая и спутниковая связь. СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2023. 31 с.
- [8] Плеханов П.А., Роенков Д.Н. Стандартизация требований для систем беспроводной связи // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 4. С. 38-42.
- [9] Плеханов П.А., Роенков Д.Н. Переход к будущей железнодорожной системе подвижной связи // Автоматика, связь, информатика. 2021. № 5. С. 6-11.
- [10] Роенков Д.Н., Плеханов П.А. Беспроводная связь для высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Санкт-Петербург // Автоматика, связь, информатика. 2021. № 12. С. 11-13.
- [11] Радиосвязь для высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Санкт-Петербург // Транспорт Российской Федерации. 2024. № 1. С. 58-61.
- [12] Плеханов П.А., Роенков Д.Н. БПЛА на службе железнодорожного транспорта // Автоматика, связь, информатика. 2023. № 9. С. 13-16.
- [13] Лапунов С.И., Роенков Д.Н., Плеханов П.А. Коротковолновая ионосферная радиосвязь и возможности ее применения // Автоматика, связь, информатика. 2022. № 7. С. 14-19.
- [14] Лапунов С.И., Роенков Д.Н., Плеханов П.А., Глухов И.А. Применение систем коротковолновой радиосвязи на малоинтенсивных железнодорожных участках // Автоматика, связь, информатика. 2022. № 9. С. 4-8.
- [15] Лапунов С.И., Роенков Д.Н., Плеханов П.А., Глухов И.А. Радиосвязь на малоинтенсивных железнодорожных участках // Автоматика, связь, информатика. 2022. № 11. С. 2-7.