

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ БЕСПРОВОДНОГО ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА В СИСТЕМЕ СВЯЗИ ТАКТИЧЕСКОГО ЗВЕНА УПРАВЛЕНИЯ

Лукьянчик В. Н.¹, Карташев А. В.², Васильева Т. Г.³

DOI:10.21681/3034-4050-2026-5-21-32

Ключевые слова: линии связи, сети, излучение, оборудование, частота, военная связь, дуплексёр, антенна.

Аннотация

Цель исследования: обобщить применяемые средства беспроводного широкополосного доступа, применяемые в системах связи специального назначения с учетом анализа опыта СВО, определить порядок их применения и построения системы связи в соответствии с их тактико-техническими характеристиками и возможностями по обеспечению связи с потребностями органов управления.

Метод исследования: основу исследования составила общая теория систем, теория военной связи, теория открытых систем с использованием методов системного анализа. Достоверность результатов обеспечивается практической реализацией приложенных в статье способов применения средств беспроводного широкополосного доступа в системах связи различных уровней управления.

Результат: исследование в области создания и применения беспроводных многоканальных радиосредств при развёртывании сетей связи специального назначения для управления в бою и операции на основании опыта СВО. Особую значимость результат исследования представляет при развёртывании сетей, отдельных линий связи на основе различных технологий беспроводного широкополосного доступа, при этом рассмотрены вопросы, связанные с ЭМС, дальности связи и совместного применения различных технологий. Представлены практические результаты применения средств беспроводного широкополосного доступа как средства транспортной сети связи. Внедрение оборудования средств беспроводного широкополосного доступа для расширения высокоскоростной транспортной сети в тактическом и оперативном звене управления позволяет создать надёжную, масштабируемую и отказоустойчивую инфраструктуру различной конфигурации.

Научная новизна определяется глубиной обоснования и рассмотрения тенденций развития средств многоканальной радиосвязи и особенностей их применения на сетях связи специального назначения с учетом их тактико-технических характеристик и возможностей для предоставления услуг в соответствии с современными требованиями.

Введение

Характер современных боевых действий таков, что успешное выполнение задач в современных условиях во многом определяется объёмом, которым располагают органы военного управления, полнотой, достоверностью и доступностью информации при совместном ее использовании для решения комплексных задач. Увеличивающийся разрыв между возрастающими объёмами информации и уровнем развития средств ее представления, хранения, обработки и передачи существенно влияет на оперативность и качество решения задач, а также обуславливает необходимость принятия организационных и мероприятий технического характера способствующих обеспечением органов управления в связи.

Объёмы информационных потоков стали таковыми, что существующие средства и комплексы связи не способны обеспечить их передачу с требуемым качеством в заданные сроки и с требуемой пропускной способностью. С увеличением объема передаваемых сообщений, с сокращением времени доведения их до подчинённых, а также передачей как традиционных видов связи (телефон, телеграф, передача данных), так передачей конференц-связь, видео-конференц-связь, файловый обмен и другие, требуются средства связи, имеющие каналы связи с широкой полосой пропускания.

Определяющими факторами при создании сетей связи СН являются тенденции развития сетевых технологий. При этом должны обеспечиваться следующие требования (свойства):

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

2 **Карташев Александр Викторович**, кандидат военных наук, доцент, заведующий кафедрой инфокоммуникационных технологий и систем связи инженерного факультета Академии гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени генерал-лейтенанта Д. И. Михайлика, Химки. Россия. E-mail: a.kartashev@agz.50.mchs.gov.ru

3 **Васильева Татьяна Геннадьевна**, научный сотрудник научно-исследовательского центра Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С. М. Буденного, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: tanuha832008@yandex.ru

- создание единой технологической основы сетей связи;
- создание программно-аппаратных комплексов по предоставлению видов и услуг связи должностным лицам органов военного управления;
- создание систем управления системой связи, комплексной безопасности связи, а также системы технического обеспечения связи и автоматизации управления;
- обеспечение информационно-технологической совместимости систем, комплексов, средств связи;
- интеллектуализация телекоммуникационных сетей;
- внедрение беспроводных сетевых технологий, поддерживающих скорости сотни Мбит/с, применяемых для построения локальных и глобальных мобильных сетей.

Основная часть

Структурно система связи тактического звена управления предоставляет собой узлы

и линии связи, образованные различными средствами связи, соединяющие эти узлы. При этом основным элементом уже сегодня по опыту СВО является транспортная сеть связи (ТрСС), которая по своему функциональному предназначению является сетью связи общего пользования.

При развертывании ТрСС в оперативных объединениях широко применялись беспроводные многоканальные средства радиорелейной и тропосферной связи для развертывания одноинтервальных и многоинтервальных линий связи.

Анализ опыта организации связи в ходе проведения СВО показал, что штатные средства связи из состава войск связи имеет низкую разведзащищенность и живучесть, а полевые средства связи (аппаратные связи) подвержены воздействию средствами РЭБ и ракетно-артиллерийскими системами противника, они быстро разведываются всеми видами разведки противника и уничтожаются. Вследствие этого для развертывания линий связи на осях и рокадах с 2022 г. массовое применение нашли средства на технологиях беспроводного широкополосного

Основные технические характеристики	Радиомост Ubiquiti LiteBeam 5AC-Gen2	Радиомост Ubiquiti LiteBeam M5-23	Vector 5V5-28	InfiLINK 2x2 R5000-Mmx/5/300 .2x500.2x28	InfiLINK Evolution E5-STE	ELTEX WB-2P-LR5
Внешний вид						
Диапазон рабочих частот	5150–5875 МГц		4900–6050 МГц			51500–6160 МГц
Дальность связи макс/факт	30/10 км	30/5 км	80/60 км	50/30 км	60/40 км	3/1 км
Максимальная пропускная способность	До 450 мбит/с		До 650 мбит/с	До 280 мбит/с		
Размеры	512x385x258 мм	362x267x184 мм	600x600x68 мм	600x600x75 мм	180x190x86 мм	80x262x66 мм
Вес	1 кг	0,750 кг	5,8 кг	6,4 кг	1,2 кг	
Электропитания	24 в, 0.3 А Gigabit PoE		90–240 В ~ 50/60 Гц	110–240 В ~ /50-60 Гц	90–240 В ~ 50/60 Гц	PoE 24 В
Максимальное э/потребление	7 Вт	4 Вт	15 Вт	20 Вт	15 Вт	8 Вт
Напряжение	24 В +/-10%					
Усиление	26 дБм	23 дБм	28 дБм	28 дБм	26 дБм	28 дБм
Выходная мощность	20 дБм		27 дБм			
Влияющие факторы на связь	Туман, дождь		Не выявлено			Туман, дождь
Производитель	Китай		ООО «Интернет» филиал – Екатеринбург			ООО «Элтекс»

Рис. 1. Основные характеристики оборудования БШГД

доступа (БШПД), используемых также для обеспечения доступа мобильных и фиксированных абонентов. При этом применение средств БШПД в первый раз было в ходе стратегических учений «Центр-2015», а далее в ходе боевых действий в Сирийской Арабской Республике.

Одной из особенностей построения транспортно-сетевой связи в ходе специальной военной операции стало применение в составе сети различных мобильных высокоскоростных средств беспроводного широкополосного доступа типа «Дина», InfiNet, Wi-MAX, Ubiquiti, Mikrotik и др., (рис. 1). в системах связи всех звеньев управления.

Комплекс средств БШПД имеет относительно небольшие размеры, малый вес, различные участки диапазона частот, большие скорости передачи, обеспечивается дистанционное управление, что позволяет их применять при развертывании линий и узлов связи в системах связи, как средств связи двойного назначения.

Оборудование БШПД отличается небольшими массогабаритами, а значит является малозаметным и менее подвержено воздействию средств разведки противника. Следовательно, имеет лучшие показатели разведзащищенности и живучести при развертывании сетей и линий связи вблизи линии соприкосновения войск в сравнении с существующими радиорелейными станциями ТЗУ на базе автомобильно-базового шасси (бронеплате) с крупными антенно-мачтовыми устройствами, достигающими высоты до 20 м (мачта Б-13).

Массогабаритные показатели оборудования значительно упрощают его развертывание, включающее только крепление корпуса оборудования к мачте посредством удобного универсального монтажного комплекта, применение которого в боевых условиях СВО позволяет устанавливать оборудование БШПД на высотные объекты различной инфраструктуры (рис. 2) (вышки связи сетей общего пользования, крыши и балконы жилых домов, деревья, столбы освещения, кирпичные и металлические трубы теплоэлектросетей и т.д., рис. 3).

Размещение оборудования для построения линий прямой связи широкополосного доступа ТрСС, а также линий привязки в ТЗУ в непосредственной близости с объектами имеющейся гражданской инфраструктуры обеспечивает доступ оборудования БШПД, поддерживающего технологию электропитания PoE 802.3af/at (Power over Ethernet (PoE)) – технология, обеспечивающая передачу удалённому устройству электрическую энергию вместе с данными через стандартную витую пару в сети Ethernet) с запитыванием от промышленной сети 220В и 50Гц, к средствам электроснабжения гражданских операторов и, тем самым, упрощению обслуживания средств и ретрансляторов широкополосной связи.

При отсутствии такой возможности применяют автономные мачты с солнечными батареями или аккумуляторами большей емкости типа PowerBank, применение которых не нуждается в техническом обслуживании аккумуляторных батарей, мобильно, не демаскирует себя тепловым излучением и шумом работы штатного агрегата. Однако требует наличия резервного комплекта на случай заряда основного.

Данное решение позволяет развертывать сети БШПД на достаточно большие распределенные территории с организацией различных топологических структур, предусмотренных режимами работы оборудования («точка-точка», «точка-многоточка», mesh).

Для обеспечения высокой доступности элементов ТрСС и увеличения дальности связи линий в зоне СВО применяют ретрансляторы не только наземного базирования, но и воздушного (БПЛА), а также их комплексное использование (рис. 4).

При наличии в подразделении связи разнотипных средств БШПД, встречная работа которых невозможна по ВЧ-тракту вследствие различной структуры линейного радиосигнала, для их совместной работы развертывают составные линии, соединенные по стыку Ethernet.

Кроме этого, опыт СВО показал тенденцию к интеграции применения средств различных



Рис. 2. Варианты комплектов для крепления оборудования БШПД



Рис. 3. Варианты развертывания оборудования БШПД



Рис. 4. Вариант размещения оборудования БШПД на БПЛА

родов связи (радио, радиорелейные (БШПД), спутниковые, проводные), совместная работа которых возможна на основе базовой сетевой технологии Ethernet. В этом случае в местах развертывания средств БШПД необходимо минимизировать количество используемого оборудования (средства связи, антенно-мачтовые устройства, средства электропитания), предусмотреть возможность, удобство, сокращение времени прокладки соединительных линий.

Одним из важных требований при выборе места развертывания, выполнение которого создаст затруднения противнику для ведения радиоразведки и постановки радиопомех, а также для снижения уровня помех от своих станций, является построение линий ТрСС с ретрансляциями зигзагообразным способом и минимальным излучением в сторону противника.

Учитывать местность и окружающие объекты (здания, лесные массивы, рельеф) для экранирования распространения сигнала в направлении от станций к противнику или к своим радиосредствам, способным создавать помехи, а также возможных источников помех высоковольтных линий электропередачи, электрифицированных железных дорог и т.д.

Однако по вышкам связи и другим высотным объектам с установленными на них станциями БШПД или ретрансляторами связи противник активно применяет огневое воздействие, средства РЭБ, поэтому обязательным элементом при развертывании элементов ТрСС на БШПД является выполнение мероприятий по маскировке и радиомаскировке средств связи.

Стоит отметить, что прямая видимость – это всегда борьба с влиянием рельефа местности и искажениями сигнала в результате кривизны земной поверхности, которая уменьшает эффективную высоту размещения устройств. Даже на расстоянии 10 км между станциями уже достаточно искажений, чтобы прикрыть прямую видимость и существенно снизить качество связи. Дальность связи влияет на ее качество, но если обеспечена прямая видимость между антеннами станций, то это уже «полпути» к обеспечению устойчивой связи. Настройка интервалов линии включает:

- поочередную юстировку антенн корреспондирующих станций – по азимуту и углу места (в горизонтальной и вертикальной плоскостях);
- установку заданного режима работы оборудования БШПД, сетевых устройств;
- доюстировку антенн по наилучшему уровню приемного сигнала корреспондента (в современном оборудовании БШПД осуществляется с использованием программных графических инструментов, позволяющих оценить характеристики сигнала и показатели качества связи в обе стороны).

Выполнение требований по показателям качества связи на интервале определяет правильность развертывания линий ТрСС (пунктов ретрансляции) и качество настройки интервалов.

Стыковка переприемных участков, а также развертывание составных линий с мобильными радиорелейными станциями (Р-419Л1(М), Р-419МР,

радиорелейным оборудованием комплексных аппаратных связи ТЗУ) осуществляется по стыку Ethernet.

Важным значением для организации связи при применении БШПД является организация дистанционного управления. Исходя из специфики эксплуатации оборудования БШПД в боевой обстановке, обязательным условием для повышения разведзащищенности является организация дистанционного управления станциями. Для этого необходимо использовать автоматизированные поворотные устройства (рис. 5).

Для дистанционного выноса станции применяют различные варианты с использованием как электрического (П-274М, витая пара UTP и др.), так и оптического кабеля, устройств преобразования среды и передачи данных (медиаконвертеры, xDSL-модемы, промежуточные коммутаторы (switch), UTP-репитер). Хотелось отметить, что по техническим характеристикам оптический кабель бывает очень разный, как и медиаконвертеры, поэтому дальность передачи может колебаться от сотен метров до десятков километров. Так медиаконвертеры по многомодовому волокну позволяют передать данные на расстояние до 5 км и по одномодовому волокну

до 100 км. Вариант организации дистанционного управления станцией БШПД с использованием медиаконвертера по ВОЛС представлен на рисунке 6.

При использовании промежуточных неуправляемых коммутаторов (switch) дальность линии можно увеличить до 300 м, почти в 3 раза (рис. 7б). UTP-репитер, как правило, является устройством PoE-питания, в связи с этим необходим специальный коммутатор или PoE-инжекторы. Из практики, для передачи гигабитного Ethernet на расстояние до 800 м UTP-репитеры устанавливаются через 100-150 м (рис. 7в).

Использование xDSL модемов позволяет увеличить дальность выноса по медному кабелю (витой паре) до 20 км (рис. 7г).

Протяженность канала дистанционного управления зависит от технических характеристик используемых модемов (xDSL-технологии) и параметров кабеля связи, которые необходимо учитывать для передачи требуемого объема информации на заданную дальность связи. Каждая xDSL-технология имеет свои пределы в скорости и дальности передачи данных в зависимости от типа кабеля связи и качества связи (табл. 1).



Рис. 5. Автоматизированные поворотные устройства для БШПД

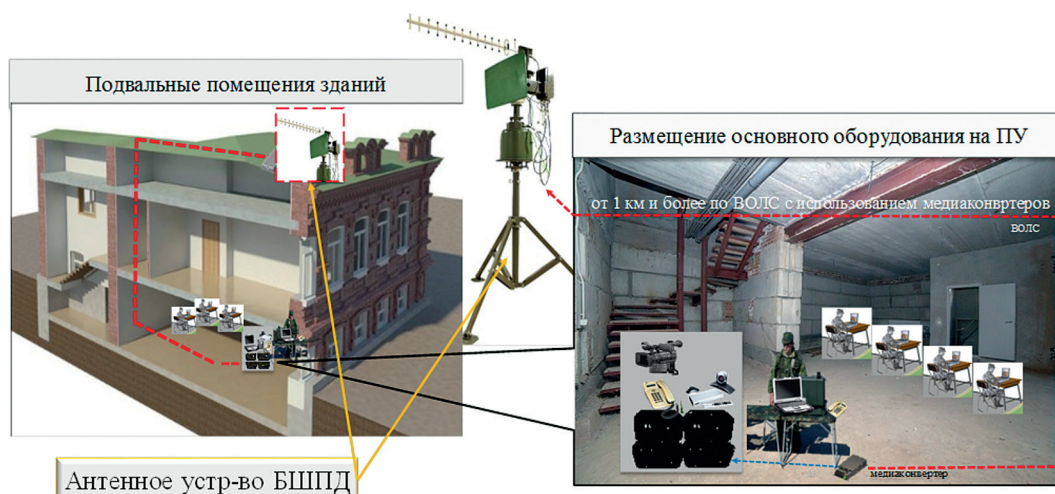


Рис. 6. Вариант организации дистанционного управления станцией БШПД с использованием медиаконвертера по ВОЛС

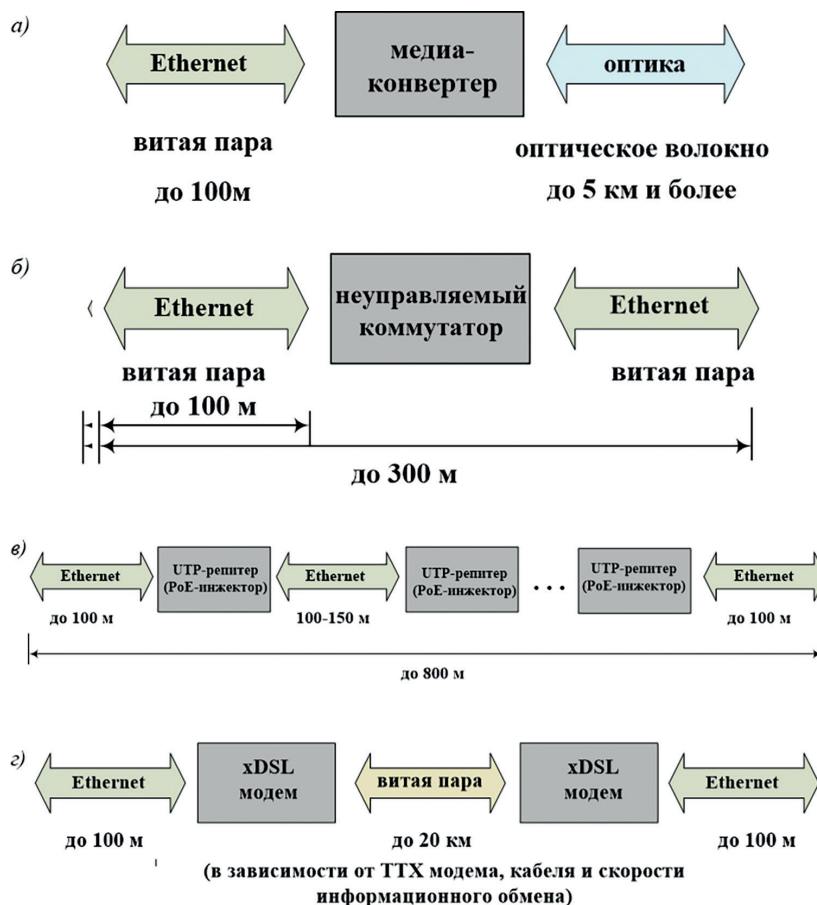


Рис. 7. Схемы организация увеличения линии для дистанционного управления оборудованием БШПД:

а) использование медиаконвертера; б) использование коммутатора
в) использование UTP-репитеров; г) использование xDSL-модема

Таблица 1.
Предельные параметры различных стандартов DSL

Тип DSL-технологии	Максимальная скорость, Мбит/с		Максимальная дальность, км
	Прием	Передача	
ADSL	24	3,5	6
VDSL	300	50	5
HDSL	2		4,5
SHDSL	15,3		20

Максимальная дальность связи работы xDSL-технологии в скорости информационного обмена (для модема FlexDSL Orion-3 из состава КАС, радиорелейной станции Р-419Л1(М)) с вероятностью ошибки не хуже 10^{-7} в зависимости от используемого медного кабеля с низким уровнем шумов представлены в таблице 2.

Средства БШПД обеспечивают передачу информации через открытый и закрытый сегменты. При размещении сетевого оборудования открытого и закрытого сегментов развертывание

средств БШПД (точек доступа) обеспечивают с организацией выноса проводными линиями.

Открытый сегмент используется в интересах предоставления незащищенных услуг связи, допускается передача только открытой (несекретной) информации. Особых требований к размещению оборудования и автоматизированных рабочих мест нет.

Для подключения средств БШПД к открытой сети передачи данных могут использоваться различные каналы связи:

- выделенный канал оператора связи (например, «Ростелеком»);
- каналы спутниковой связи;
- каналы радиорелейной связи и средств БШПД;
- канал до узла связи объекта комплексного оснащения МО РФ.

Защищенный (закрытый) сегмент обеспечивает предоставление защищенных (засекреченных) услуг связи, допускается передача информации, содержащей сведения составляющие государственную тайну. При развертывании

Таблица 2.

Максимальная дальность xDSL-модема Flex DSL Orion-3 и скорости информационного обмена в зависимости от используемого типа медного кабеля

Кабель	ТПП 0,4 (км)	ТПП 0,5	ТПП 0,64 (П-274М) (км)	КСПП 0,9 (км)	КСПП 1,2 (км)	ЗКП 1,2 (км)	МКСБ 1,2 (км)
Скорость							
1024 кбит/с	6	7	11,5	16	17	25	28
2048 кбит/с	4,5	6,5	8,5	11	12	17	19
4096 кбит/с	2,7	4	5,5	7	8	10	12
5704 кбит/с	2,2	3	5	6	7	8	10
8192 кбит/с	1,8	2,4	3,2	4	5	6	8
11,4 Мбит/с	1,2	1,6	2,1	2,7	3	4	5
15,2 Мбит/с	1	1,2	1,6	2,3	2,5	2,8	3

выдвигаются особые требования к размещению оборудования и автоматизированных рабочих мест закрытого сегмента.

Защищенная логическая сеть организуется поверх сети открытого сегмента путем добавления устройств шифрования (криптомаршрутизаторов), что позволяет обеспечить не только защиту передаваемой информации, но и сокрытие внутренней адресации объектов сети.

К основным требованиям функционирования средств БШПД относится:

1. **Интероперабельность.** Способность оборудования к корректному взаимодействию и функционированию с другими средствами без каких-либо ограничений доступа и реализации, что требует наличия и соблюдения единых протоколов и стандартов всех средств, работающих в единой сети (Wi-Fi IEEE 802.11, LTE и др.). А также совместимость оборудования БШПД со стандартами и протоколами существующей телекоммуникационной инфраструктуры (Ethernet, протокол MINT, AirMax и др.).
2. **Безопасность и защита.** Использование механизмов шифрования данных (выбор криптографических алгоритмов WPA2/WPA3, WEP, TKIP и др.), методов аутентификации и управления доступом для защиты от несанкционированного доступа к устройству. В качестве механизмов аутентификации используются открытая аутентификация (Open Authentication) и аутентификация с ключом (Shared Key Authentication) предусмотренные стандартом IEEE 802.11 с традиционной безопасностью, а также назначение идентификатора беспроводной локальной сети (SSID, Service Set Identifier), который является атрибутом (именем) беспроводной сети на логическом уровне и позволяет отличать сеть от других.

3. **Управляемость и мониторинг устройств (сети).** Обеспечение централизованного мониторинга и управления параметрами сети и устройств, своевременного реагирования на проблемы в сети. Управление оборудованием в беспроводной сети включает настройку протоколов SNMP, Telnet, Web, логирование (ведение журнала событий для мониторинга, диагностики состояния программных и аппаратных компонентов, анализа безопасности и производительности в сети), поддержку QoS (качества обслуживания) и резервирование соединений.
4. **Требования к системным и сетевым настройкам оборудования БШПД.** Настройка параметров сетевых интерфейсов оборудования БШПД и управляющего компьютера (ноутбука, планшета) для их работы в одной сети. К ним относится задание IP-адреса устройствам БШПД и компьютеру (а также маску подсети, шлюз), настройка системных параметров (логины, пароли, присвоение имени устройству и др.), настройка логических интерфейсов в зависимости от модели устройства (VLAN, VPN, join и т.д.) для оптимизации работы сети.
5. **Требуемый перечень услуг связи.** Должен предоставляться весь требуемый перечень телекоммуникационных услуг:
 - передача данных (обмен электронной корреспонденцией, Интернет и т.д.);
 - пакетная телефонная связь (IP-телефония и АТС-Р);
 - видеотелефонная связь (видеоконференц-связи);
 - видеотрансляция (видео данные с БПЛА и др.).

Рассмотренные требования могут быть дополнены с учетом специфики и условий применения оборудования БШПД.

В тактическом звене управления (ТЗУ) сеть широкополосного беспроводного доступа организуется для построения транспортных сетей связи и сетей доступа.

Взаимодействие всех сетевых элементов возможно при организации способов развертывания сетей БШПД, определяемых структурой системы связи ТЗУ и сетевыми топологиями, в которых функционируют средства БШПД в зависимости от реализованных в них режимов работы.

Современные средства БШПД функционируют в следующих топологических структурах, на базе которых строят сети БШПД:

- «точка-точка» – режим радиомоста между двумя удаленными точками/сегментами сети (направление связи);
- «точка-многоточка» («радиальная» сеть) – режим работы в зоне покрытия с одной точкой доступа (базовая станция) и группы абонентов (абонентские станции);
- «mesh» – сеть («многоточка-многоточка» – равнозначные точки доступа, каждая из которых может выступать в роли базовой станции).

По опыту СВО в районе выполнения боевых задач подразделений ТЗУ пункты управления

и должностные лица на них размещаются рас-
средоточено. Это приводит к увеличению про-
странственного размаха и пропускной способ-
ности системы связи, а также к необходимости
организации связи «каждый с каждым», когда
информационный обмен обеспечивается между
всеми должными лицами всех ПУ по принципу
полной связности. Эффективность показали
структуры смешанного типа на базе указанных
топологий.

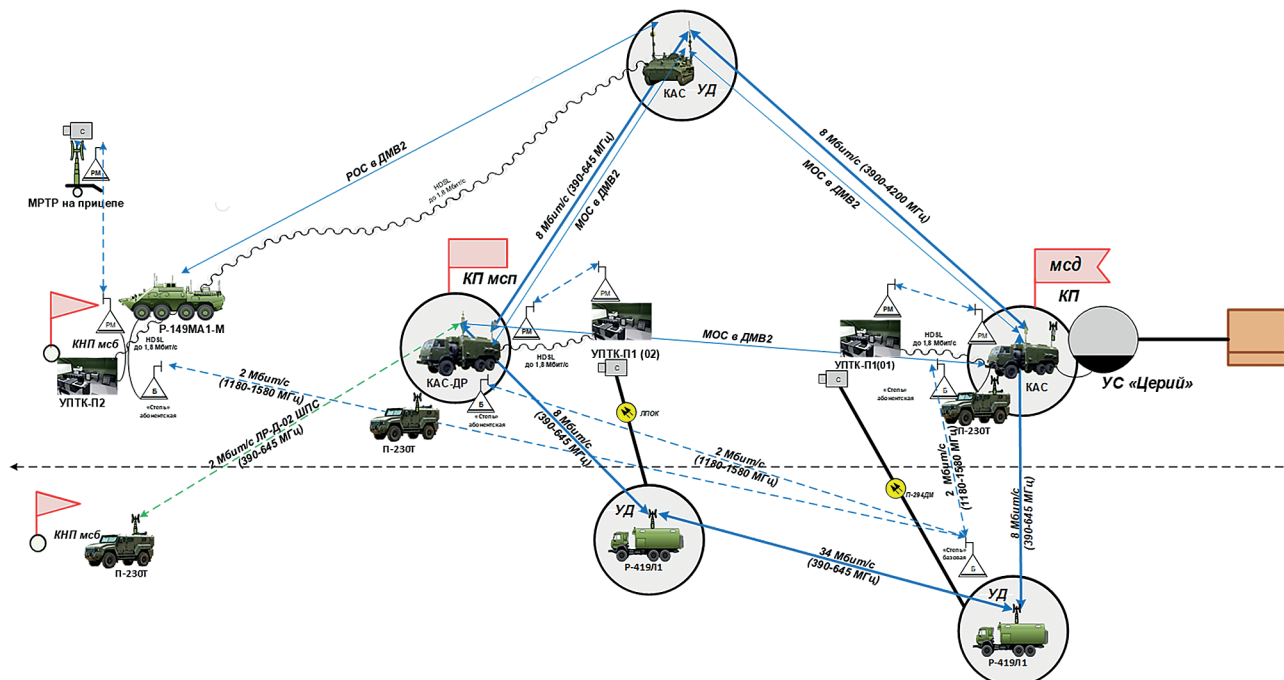
В состав данных сетей входят абонентские и базовые станции, образующие точки доступа (Wi-Fi – сеть доступа), взаимодействующие на канальном уровне, и маршрутизаторы, объединяющие их в единую транспортную сеть ТЗУ на сетевом уровне (рис. 8).

Основные характеристики сетей беспроводного доступа наиболее распространенных стандартов приведены в таблице 3.

Топология «точка-точка». Это простейший вид сетевой топологии, соединяющий напрямую между собой два узла (станции БШПД). В оборудовании БШПД режим (ad-hoc IEEE 802.11).

По опыту СВО с использованием топологии «точка-точка» в ТЗУ развертываются ТСС соединений на основе линий прямой связи,

Схема организации фрагмента транспортной сети соединения



Расчет привлекаемой техники связи:

Наименование	Р-419.П	П-230Т (ЛР-Д)	Р-419.П1М (РЕ.ЛЕРО)	Аппаратная Б (РЕ.ЛЕРО)	Моб. пункт РТР (РЕ.ЛЕРО)	КАС-ЛР (ЛР-Д)	КАС (ЛР-Д)	БШПД "Степь"	Радиомост для УПТК-II-1
Батальон		1			1			1	
Полк		1					1	2	2
Дивизия	2	1				1	1	1	2
Итого:	2	3			1	1	2	4	4

Рис. 8. Фрагмент транспортной сети связи с использованием средств БШПД в ТЗУ

Таблица 3.

Основные характеристики технологий стандартов БЩД

Станд. IEEE Технология	802.11a/b Wi-Fi	802.11g/n Wi-Fi	802.11ac Wi-Fi	802.11ax Wi-Fi	802.16e WiMAX
Вид модуляции	OFDM: ФМ-4 КАМ-16 КАМ-64/ DSSS/CC: ФМ-2 ФМ-4	DSSS/CCK/ OFDM: ФМ-2; -4 КАМ-16; -64/ OFDM/MIMO: ФМ-2; -4 КАМ-16; -64	OFDM (512): ФМ-2; -4 КАМ-16 КАМ-64 КАМ-256	OFDM (2048): ФМ-2; -4 КАМ-16 КАМ-64 КАМ-256 КАМ-1024	OFDM/OFDMA/ MIMO: ФМ-2; -4 КАМ-16; -64
Частота	5,2 / 2,4	2,4 / 2,4 / 5,2	2,4 / 5	2,4 / 5	2...6
Проп. способн. до (Мбит/с)	54 / 11	54 / 480	433–6900	10–12 Гбит/с	30
Дальность. от (км)	0,1 в зависимости от антенны		От 0,4 до 5 км и более в зависимости от антенны		1...5
Ширина канала (МГц)	10/20 / 22	22 / 22 / 44 / 66	20 / 40 / 80	20 / 40 / 80 / 160	1,25 / 3,5 / 7 / 8,75 / 14 / 17,5 / 10 / 20 / 28

образованных, в том числе, средствами БШПД. При построении используется типовая территориально-разнесенная структура в виде традиционной опорной сети с решетчатой полносвязной структурой (рис. 8).

Использование структуры вида «решетка» обеспечивает широкие возможности по привязке ПУ при минимальном числе узлов и линий в своем составе. Структура сети состоит из осевых линий и рокад, на пересечении которых образуются узлы доступа (УД), через которые осуществляется привязка УС ПУ к ТрСС. Протяженность ТрСС ТЗУ составляет более 50 км. Для организации сети задействуется порядка 20 и более комплектов БШПД (радиомостов). Средняя протяженность одного интервала составляет 25-30 км. Средняя пропускная способность на линиях БШПД до 30 Мбит/с.

Топология «точка-многоточка». Данный вид организации сетей широко применяется в территориально-рассредоточенных сетях, где необходимо решать задачу соединения нескольких абонентов с одной точкой доступа, через которую обеспечивается обмен информацией с пунктами мотострелковых подразделений/соединений, подключение к удаленному открытому сегменту СПД МО РФ, доступ в сеть Интернет.

В данной топологии функционируют сети стандартов Wi-Fi, Wi-MAX, оборудование БШПД моделей Ubiquiti, InfiNet и др. В ряде группировок войск (сил) при проведении спецоперации на базе Wi-MAX развернута транспортная сеть связи в интересах мобильных абонентов. Однако, к настоящему времени, технология Wi-MAX не получила дальнейшего развития в связи

с переходом к технологии LTE, с 2022 г. лицензия на использование частот диапазона прекращена. Применяется Wi-MAX только частными региональными провайдерами.

В сетях с радиальной топологией имеется центральная станция – ЦС (рис. 4, 6б). Например, в беспроводных локальных сетях Wi-Fi центральную станцию принято называть точкой доступа, а при организации сетей на базе станций БШПД Ubiquiti, InfiNet и др. – базовой станцией. Создается централизованная схема управления сетью, при которой центральная станция обеспечивает управление и распределение данных.

Абонентские станции не связываются непосредственно одна с другой. Вместо этого они связываются с точкой доступа (базовой станцией), а уже она распределяет кадры абонентским станциям. Абонентский терминал через точку доступа получает доступ в сеть Интернет или к удаленному открытому сегменту СПД МО РФ. Необходимо отметить, что такие радиальные структуры называют сетями доступа или в стандартах Wi-Fi – базовыми зонами обслуживания. Размер зоны обслуживания в сетях БШПД зависит от стандарта широкополосного беспроводного доступа и типа местности, может составлять от единиц километров до нескольких десятков (например, модель станции БШПД Ubiquiti Rocket Prism при выходной мощности в 28 дБ обеспечивает дальность до 50 км).

Для исключения одновременной передачи данных абонентских устройств к точке доступа (базовой станции) применяется технология маркерного доступа (polling) абонентских станций

к базовой. Принцип маркерного доступа передачи данных между абонентскими и базовой станциями основан на том, что базовая станция выполняет роль арбитра для абонентских устройств, централизованно распределяя служебные пакеты (маркеры) между устройствами. Применение процедуры polling позволяет динамически распределять ресурс между абонентами в зависимости от их потребности.

В оборудовании БШПД Ubiquiti и InfiNet применяются проприетарные (внутрифирменные) протоколы беспроводной передачи данных между абонентскими и базовыми станциями для повышения эффективности функционирования сетей.

На основе топологии «точка-многоточка» может быть развернута резервная сеть доступа на ПУ в звене от омсбр и выше.

Топология «mesh»-сеть. Развертывание сетей доступа различного назначения. Главным принципом построения mesh-сети является самоорганизация и самовосстановление структуры сети, что повышает ее устойчивость и востребованность использования в сетях связи ТЗУ. Самоорганизация структуры позволяет реализовать топологию «каждый с каждым», но используя только заданные связи, исключая избыточность полносвязной топологии, формировать масштабируемые сети за счет увеличения зоны информационного покрытия в режиме самоорганизации, а также обеспечить динамическую маршрутизацию трафика, контроль состояния сети и т.д.

Топология Mesh основана на децентрализованной схеме организации сети, что дает высокую степень надежности. Сеть можно представить в виде узлов, которые наряду с традиционными функциями выполняют функции маршрутизаторов/ретрансляторов для других узлов этой же сети. Благодаря этому появляется возможность создания самоустанавливающейся и самовосстанавливающейся сети. Процедура расширения сети ограничивается установкой новых точек доступа, интеграция которых в существующую сеть происходит автоматически на основе трансляции каждым устройством своих параметров и характеристик сети для выбора оптимального маршрута передачи данных.

Благодаря автоконтролю и управлению большим количеством параметров mesh-сеть легко

адаптирована для обеспечения устойчивого функционирования мобильных подвижных абонентов в тактическом звене управления.

В настоящее время для организации построения mesh-сетей производители оборудования БШПД разработали собственные (проприетарные) протоколы функционирования беспроводных сетей с произвольной структурой.

Как показывает опыт СВО в ТЗУ, в ходе наступательных действий организуются сети доступа к ТСС ТЗУ по mesh-топологии, называемые зонами покрытия Wi-Fi. В звене от батальона (дивизиона) и ниже предлагается строить сплошную зону покрытия Wi-Fi-сети на основе mesh-топологии с развертыванием Wi-Fi-точек доступа, что позволит обеспечить необходимую мобильность и доступность ТСС. Для обеспечения резервирования в звене рота (батарея) и выше используются радиомосты, а также в звене от омсбр и выше целесообразно применять оборудование БШПД (радиомосты) в качестве резервных линий.

Привязку ПУ омсбр к ТрСС дивизии (армии) осуществляют по волоконно-оптическим линиям связи с использованием легкого волоконно-оптического кабеля и оптических SFP-модулей.

Заключение

Рассмотренные предложения позволяют обеспечить развертывание ТрСС ТЗУ и предоставление должностным лицам пунктов управления соединений, воинских частей и подразделений услугами телефонной связи, SIP-телефонии, фиксированного широкополосного доступа, вывод на пункты управления видеотрансляции с наземных комплексов видеонаблюдения, комплексов с БпЛА, а также передачу данных в контуре информационного обмена.

Для обеспечения требуемой зоны покрытия Wi-Fi-сети необходим правильный подбор оборудования с анализом его технических характеристик, таких, как пропускная способность, дальности связи, помехоустойчивость, поддерживаемое количество абонентов. Увеличение зоны покрытия точек доступа (БС) применяют специальные устройства – репитеры. Для исключения/уменьшения электромагнитного влияния соседних базовых станций друг на друга применяют территориально-частотное планирование использования радиочастот.

Литература

1. Иванов В. Г., Квитка Д. В., Петров И. А., Баширов С. Ю. Применения средств беспроводного широкополосного доступа в транспортной сети связи группировки войск // Телекоммуникации и связь. – 2026. – № 4 (13). – С. 2–13. – DOI:10.21681/3034-4050-2026-4-2-13.

2. 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.
3. 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. – 304 с.
4. Тишков В. В., Иванов В. Г., Лукьянчик В. Н. Обоснование облика построения перспективных комплексов и средств связи на основе опыта организации связи при проведении специальной военной операции // Военная мысль. – 2023. – № 9. – С. 59–72.
5. Школьников К. Е., Иванов В. Г., Лукьянчик В. Н. Особенности развёртывания полевой системы связи общевойскового соединения на основе применения технологий самоорганизующей сети, реализованных в радиорелейных станциях Р-419 МР // Военная мысль. – 2024. – № 5. – С. 62–74.
6. Иванов В. Г., Лукьянчик В. Н., Сухотеплый А. П. Влияние опыта СВО на развитие транспортной сети соединения на основе средств беспроводного широкополосного доступа и технологий самоорганизующихся сетей связи // Военная мысль. – 2025. – № 4. – С. 78–88.
7. Стаценко Л. Г., Совкова О. И., Скварник И. С. Анализ возможностей технологий беспроводного широкополосного доступа для обеспечения безопасности мореплавания в заливе Петра Великого // Вестник инженерной школы ДВФУ. – 2020. – № 3 (44). – С. 104–120.
8. Мухамадиева З. Б. Технология mesh-сети // Молодой ученый. – 2018. – № 2 (188). – С. 5–8.
9. Лукьянчик В. Н., Челахов Д. М., Лобачева В. А. Общие предложения по повышению эффективности функционирования сетей беспроводного широкополосного доступа // Известия высшей военной школы генерального штаба Вооруженных сил республики Ангола. – 2025. – № 2. – С. 30–34.
10. Мельников М. И., Ковтун А. С. Самоорганизующаяся сеть оперативного взаимодействия для нужд населения и специальных служб // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2014. – № 2 (32). – С. 281–286.

DIRECTIONS OF DEVELOPMENT AND APPLICATION OF WIRELESS BROADBAND ACCESS IN THE COMMUNICATION SYSTEM TACTICAL COMMAND AND CONTROL

Lukyanchik V. N.⁴, Kartashev A. V.⁵, Vasilyeva T. G.⁶

Keywords: communication lines, networks, radiation, equipment, frequency, military communication, duplexers, antenna.

Abstract

The purpose of the study is to summarize the means of wireless broadband access used in special-purpose communication systems, taking into account the analysis of the experience of the special military operation, to determine the procedure for their application and construction of the communication system in accordance with their tactical and technical characteristics and capabilities to ensure communication with the needs of control bodies.

Research method: the basis of the research is the general theory of systems, the theory of military communications, the theory of open systems using the methods of system analysis. The reliability of the results is ensured by the practical implementation of the methods of using wireless broadband access in communication systems of various levels of control.

Result: a study in the field of creation and application of wireless multi-channel radio facilities in the deployment of special-purpose communication networks for control in combat and operations based on the experience of the NWO. The result of the study is of particular importance in the deployment of networks, individual communication lines based on various technologies of wireless broadband access, while issues related to EMC, communication range and joint use of various technologies are considered. Practical results of the use of wireless broadband access tools as a means of transport communication network are presented. The introduction of wireless broadband access equipment to expand the high-speed transport network at a tactical and operational control level allows you to create a reliable, scalable and fault-tolerant infrastructure of various configurations.

The scientific novelty is determined by the depth of substantiation and consideration of the trends in the development of multi-channel radio communication facilities and the features of their application in special-purpose communication networks, considering their tactical and technical characteristics and capabilities for providing services in accordance with modern requirements.

4 **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

5 **Alexander V. Kartashev**, Ph.D. of Military Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Infocommunication Technologies and Communication Systems of the Faculty of Engineering of the 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, Russia. E-mail: a.kartashev@agz.50.mchs.gov.ru

6 **Tatyana G. Vasilyeva**, Researcher at the Research Center of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny, St. Petersburg, Russia. E-mail: tanuha832008@yandex.ru

References

1. Ivanov V. G., Kvitka D. V., Petrov I. A., Bashirov S. Yu. *Primeneniya sredstv besprovodnogo shirokopolosnogo dostupa v transportnoj seti svyazi gruppировки vojsk* // *Telekommunikacii i svyaz'*. – 2026. – No. 4 (13). – Pp. 2–13. – DOI:10.21681/3034-4050-2026-4-2-13
2. Ivanov V. G. *Osnovy postroeniya i ocenki ehffektivnosti funkcionirovaniya sistemy svyazi special'nogo naznacheniya v mezhdunarodnom vooruzhennom konflikte na osnove mnogosfernoj i konvergentnoj struktury ee ehlementov* / *Monografiya*. – SPb.: POLITEH, 2023. – 298 p.
3. Ivanov V. G. *Teoriya i praktika postroeniya i obespecheniya funkcionirovaniya sistemy svyazi special'nogo naznacheniya s uchytom tehnologicheskogo razvitiya i opytov vooruzhennykh konfliktov* / *monografiya* – M.: Krasnaya Zvezda, 2025. – 304 p.
4. Tishkov V. V., Ivanov V. G., Luk'yanchik V. N. *Obosnovanie oblika postroeniya perspektivnykh kompleksov i sredstv svyazi na osnove opyta organizacii svyazi pri provedenii special'noj voennoj operacii* // *Voennaya mysl'*. – 2023. – No. 9. – Pp. 59–72.
5. Shkol'nikov K. E., Ivanov V. G., Luk'yanchik V. N. *Osobennosti razvyortyvaniya polevoj sistemy svyazi obshchevojskovogo soedineniya na osnove primeneniya tehnologij samoorganizuyushchej seti, realizovannykh v radiorelejnykh stanciyah R-419 MR* // *Voennaya mysl'*. – 2024. – No. 5. – Pp. 62–74.
6. Ivanov V. G., Luk'yanchik V. N., Suhotepliy A. P. *Vliyaniye opyta SVO na razvitie transportnoj seti soedineniya na osnove sredstv besprovodnogo shirokopolosnogo dostupa i tehnologij samoorganizuyushchih setej svyazi* // *Voennaya mysl'*. – 2025. – No. 4. – Pp. 78–88.
7. Stacenko L. G., Sovkova O. I., Skvarnik I. S. *Analiz vozmozhnostej tehnologij besprovodnogo shirokopolosnogo dostupa dlya obespecheniya bezopasnosti moreplavaniya v zalive Petra Velikogo* // *Vestnik inzhenernoj shkoly DVFU*. – 2020. – No. 3 (44). Pp. 104–120.
8. Muhamadieva Z. B. *Tehnologiya mesh-seti* // *Molodoj uchenyj*. – 2018. – No. 2 (188). – Pp. 5–8.
9. Luk'yanchik V. N., Chelahov D. M., Lobacheva V. A. *Obshchie predlozheniya po povysheniyu ehffektivnosti funkcionirovaniya setej besprovodnogo shirokopolosnogo dostupa* // *Izvestiya vysshej voennoj shkoly general'nogo shtaba Vooruzhennykh sil respubliki Angola*. – 2025. – No. 2. – Pp. 30–34.
10. Mel'nikov M. I., Kovtun A. S. *Samoorganizuyushchayasya set' operativnogo vzaimodeystviya dlya nuzhd naseleniya i special'nykh sluzhb* // *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioehlektroniki*. – 2014. – No. 2 (32). – Pp. 281–286.

