

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение
высшего образования «Военная академия связи имени
Маршала Советского Союза С. М. Буденного»
Министерства обороны Российской Федерации

21 кафедра
военных систем многоканальной электропроводной и оптической связи

УТВЕРЖДАЮ
Начальник 21 кафедры
полковник
А. Муравцов
«___» _____ 2020 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

курсанту 2651 учебной группы
факультета многоканальных телекоммуникационных систем
рядовому Витовский Павел Михайлович

Тема: Разработка объектовой сети связи военного
назначения на основе технологии атмосферной
оптической связи

Закреплена приказом начальника академии № ____
от __ сентября 2020 года

г. Санкт-Петербург – 2020 г.

СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ

I. ЦЕЛЕВАЯ УСТАНОВКА

На основе анализа принципов функционирования технологии *FSO*, разработать предложения по использованию атмосферно-оптических систем передачи на сетях связи специального назначения

II. ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ

Введение

1. Анализ ТТХ оборудования АОЛС и его применения на линиях связи специального назначения.

2. Расчет атмосферно-оптической линии связи специального назначения

3. Формулировка основных требований к оборудованию при построении объектовой сети.

4. Выводы по работе.

III. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

1. Методика расчета АОЛС.

2. Основные ТТХ и ТЭД телекоммуникационного оборудования отечественных и зарубежных производителей.

3. Принципы построения и функционирования АОЛС.

4. Методические рекомендации по разработке, оформлению и защите дипломных работ, проектов и задач. – СПб.: ВАС, 2013.-10с

IV. ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ, ПРЕДСТАВЛЯЕМЫХ К ЗАЩИТЕ

1. Пояснительная записка.

2. Графические материалы, поясняющие сущность и результаты выполненной работы.

3. Результаты расчета атмосферно-оптической линии связи с использованием программной среды Matlab.

V. ПЕРЕЧЕНЬ НЕОБХОДИМЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ И РАСЧЕТОВ НА ЭВМ

1. Учебно-демонстрационная программа (презентация)

2. Проведение экспериментальных исследований на проверку достоверности полученных результатов в ПО ЭВМ.

VI. ОБЩИЙ ОБЪЕМ И ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТНЫХ ДОКУМЕНТОВ

1. Пояснительная записка объемом 50–60 страниц печатного текста, выполненная согласно требованиям методических рекомендаций по подготовке и защите выпускной квалификационной работы (2013 года).

VII. ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скляр О. В. Волоконно-оптические сети и системы связи – М.: Лань, 2010 г. с.207-221
2. Цифровые системы передачи [Электронный образовательный ресурс]: Свидетельство об официальной регистрации программы ЭВМ № 1647 от 29 февраля 2016– Режим доступа: <http://kaf21.vas.local>.
3. Родина О. В. Волоконно-оптические линии связи. Практическое руководство. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009 г.
4. Технологические описания оборудования АОЛС каталоги и прайс-листы продукции.
5. Наставление по связи соединений и частей Сухопутных войск. – М. : Воениздат, 2013 г.

VIII. СРОКИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗАВЕРШЕННОЙ РАБОТЫ

РУКОВОДИТЕЛЮ:	до 14 мая 2021 г.
НАЧАЛЬНИКУ КАФЕДРЫ:	до 18 мая 2021 г.
РЕЦЕНЗЕНТУ:	до 25 мая 2021 г.

РУКОВОДИТЕЛЬ
преподаватель 21 кафедры
майор

А. Боробов

« ____ » _____ 2020 г.

ЗАДАНИЕ ПОЛУЧИЛ
курсант 2642 учебной группы
факультета многоканальных телекоммуникационных систем
рядовой

П. Витовский

Содержание

Список принятых сокращений.....	6
Введение.....	7
1..... Анализ ТТХ оборудования АОЛС и его применения на линиях связи специального назначения.....	8
1.1 История создания и развития.....	8
1.2 Технология атмосферно-оптических линий связи.....	12
1.2.1 Анализ возможностей аппаратуры оптических систем передач.....	13
1.2.2 Технические характеристики.....	18
1.2.3 Особенности и преимущества.....	18
1.2.4 Недостатки технологии АОЛС/FSO.....	20
1.3 Сравнительный анализ оборудования АОЛС различных производителей.....	21
2..... Расчет АОЛС специального назначения	34
2.1. Анализ факторов, влияющих на функционирование атмосферных оптических линии связи.....	34
3. Формулировка основных требований к оборудованию аосп при построении объектовой сети связи.....	51
3.1. Общая характеристика требований, предъявляемых к военной системе связи.....	51
3.1.1. Основные задачи связи.....	51
3.1.2. Требования, предъявляемые к связи.....	53
3.2. Принципы организации связей.....	53
3.3 Характеристики системы связи.....	55
3.4. Основные требования к оборудованию АОЛС на сетях связи специального назначения.....	57
3.4.1 Использование АОЛС в качестве оборудования “последней мили”	59
3.4.2 Использование АОЛС для связи сегментов ЛВС.....	60

3.4.3 Требования к каналу АОЛС.....	60
3.4.4 Создание магистральных каналов на основе АОЛС.....	63
3.5. Анализ вариантов применения оборудования АОЛС на сетях связи специального назначения.....	64
3.6. Сеть связи перспективного полевого подвижного пункта управления модульного типа построенная на оборудовании АОЛС.....	68
Заключение.....	74
Список используемой литературы.....	75

Список принятых сокращений

- FSO* - *Free Space Optics* (атмосферная оптическая
АОЛС связь).
- БОКС - атмосферная оптическая линия связи.
- АОСП - беспроводный оптический канал связи.
- ОПУ - атмосферная оптическая система передачи.
- ОПП - опорно-поворотное устройство.
- УКН - оптический приемо-передатчик.

Введение.

В настоящий момент, по мере развития технологии и средств связи в современном мире, внедрение перспективных разработок на вооружение в ВС РФ выходит на первый план. Одной из таких технологий является технология атмосферных оптических линий связи (АОЛС), которая определяется как способ беспроводной передачи информации в коротковолновой части электромагнитного спектра. В ее основе лежит принцип передачи цифрового сигнала через атмосферу путем модуляции излучения в не лицензируемом диапазоне длин волн (инфракрасном или видимом) и его последующим детектированием оптическим фотоприемным устройством. Импульс светового излучения при прохождении в атмосфере практически не испытывает дисперсионных искажений фронтов, характерных для любых оптических волокон. Это принципиально позволяет передавать поток данных со скоростями до терабит в секунду.

К основным преимуществам такого способа передачи информации можно отнести: высокие скорости передачи, простота установки и распределения частотного диапазона. В настоящее время технология обеспечивает передачу цифровых потоков до 10 Гбит/с, что позволяет при использовании её в ВС РФ решать проблемы «последней мили», например, при привязке полевых аппаратных связи к стационарной сети при высокой защищенности канала связи, развития решений WDM для сетей SONET/SDH. Атмосферные оптические системы передачи данных (АОСП) позволяют оперативно сформировать беспроводной оптический канал связи. При использовании АОСП с системой автонаведения на мобильных средствах связи, позволит обеспечить установление связи между объектами за 10 – 15 минут, что в свою очередь сократит время привязки полевых аппаратных к стационарной сети связи, за счёт снижения временных затрат на развёртывание оптического кабеля, или при

необходимости осуществить восстановление кабельной оптической линии связи.

Цель исследования: Разработка и анализ объектовой сети связи военного назначения с применением технологии атмосферных оптических линий связи.

1. Анализ ТТХ оборудования АОЛС и его применения на линиях связи специального назначения.

1.1 История создания и развития

Идея использования света для передачи информации вовсе не нова. В 1880 году Александр Белл запатентовал фото-телефон, в котором солнечный луч, отраженный от зеркальца, модулировался голосом, передавался через атмосферное пространство и поступал на твердотельный детектор. Так, задолго до изобретения лазера, оптического волокна и даже радио, появился прототип современных атмосферных оптических линий связи.

У нас в стране первая АОЛС была создана в Москве в 1965 году – была пущена телефонная линия между зданием МГУ на Ленинских горах и Зубовской площадью протяженностью около 5 км.

После этого в СССР было построено еще несколько АОЛС: в Ереване, Красногорске, Куйбышеве, Клайпеде. В целом, испытания прошли успешно, но на тот момент технология АОЛС была признана неперспективной, и первые системы на базе лазеров так и не прижились. Для лазерных лучей требовалась прямая и хорошая видимость: малейшее колебание здания под напором ветра или из-за проехавшего мимо грузовика могло сбить луч с курса.

Решить эти проблемы удалось в 1990-х годах за счет использования сложных систем автотрекинга. Наряду с применением современной

элементной базы, это позволило лишь в XXI веке создать высокоэффективные АОЛС.

Чтобы отличить новые лазерные системы от их предшественников, технологии присвоили новое название *Free Space Optics (FSO)*, буквально – «оптика в свободном пространстве»).

Сегодня данная технология является одной из новейших в телекоммуникационной отрасли нашей страны, она стала доступна широкому кругу пользователей. Потребность в лазерной связи возросла, так как стали стремительно развиваться информационные технологии. Резко увеличивается число абонентов, развиваются Интернет, IP-телефония, кабельное телевидение с большим числом каналов, компьютерные сети и т.д.

Слово "лазер" составлено из начальных букв в английском словосочетании *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, что в переводе на русский язык означает: усиление света посредством вынужденного испускания. Таким образом, в самом термине лазер отражена так фундаментальная роль процессов вынужденного испускания, которую они играют в генераторах и усилителях когерентного света. Поэтому историю создания лазера следует начинать с 1917г., когда Альберт Эйнштейн, впервые ввел представление о вынужденном испускании. Это был первый шаг на пути к лазеру. Следующий шаг сделал советский физик В.А. Фабрикант, указавший в 1939 г. на возможность использования вынужденного испускания для усиления электромагнитного излучения при его прохождении через вещество. Идея, высказанная В. А.Фабрикантом, предполагала использование микросистем с инверсной заселенностью уровней. Позднее, после окончания Великой Отечественной войны В.А. Фабрикант вернулся к этой идее и на основе своих исследований подал в 1951 г. (вместе с М.М. Вудынским и Ф.А. Бутаевой) заявку на изобретения способа усиления излучения при помощи вынужденного испускания. На эту заявку было выдано свидетельство, в

котором под рубрикой "Предмет изобретения" было написано: "Способ усиления электромагнитных излучений отличающийся тем, что усиливаемое излучение пропускают через среду, в которой с помощью вспомогательного излучения или другим путем создают избыточную по сравнению с равновесной концентрацию атомов, других частиц их систем на верхних энергетических уровнях, соответствующих возбужденным состояниями. Первоначально этот способ усиления излучения оказался реализованным в радиодиапазоне, а точнее в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ диапазоне). В мае 1952 г. на Общесоюзной конференции по радиоспектроскопии советские физики Н.Г. Басов и А.М. Прохоров сделали доклад о принципиальной возможности создания усилителя излучения в СВЧ диапазоне. Они назвали его "молекулярным генератором" (предполагалось использовать пучок молекул аммиака).

В 1954 г. молекулярный генератор, названный вскоре мазером, стал реальностью. Он был разработан и создан независимо и одновременно в двух точках земного шара - в Физическом институте имени П.Н. Лебедева Академии наук СССР (группой под руководством Н.Г. Басова и А.М. Прохорова).

Впоследствии от термина "мазер" и произошел термин лазер в результате замены буквы "М" буквой "Л". В основе работы, как мазера, так и лазера лежит один и тот же принцип - принцип, сформулированный в 1951 г. В. А. Фабрикантом. Появление мазера означало, что родилось новое направление в науке и технике. Вначале его называли квантовой радиофизикой, а позднее стали называть квантовой электроникой.

Спустя десять лет после создания мазера, в 1964 г. на церемонии, посвященной вручению Нобелевской премии, академик А. М. Прохоров сказал: " Казалось бы, что после создания мазеров в радиодиапазоне вскоре будут созданы квантовые генераторы в оптическом диапазоне. Однако этого не случилось. Они были созданы только через пять-шесть лет. Здесь были две трудности. Первая трудность заключалась в том, что

тогда не были предложены резонаторы для оптического диапазона длин волн, и вторая - не были предложены конкретные системы и методы получения инверсной заселенности в оптическом диапазоне.

Упомянутые А. М. Прохоровым шесть лет действительно были заполнены теми исследованиями, которые позволили, в конечном счете, перейти от мазера к лазеру. В 1955 г. Н.Г. Басов и А.М. Прохоров обосновали применение метода оптической накачки для создания инверсной заселенности уровней. В 1957 г. Н. Г. Басов выдвинул идею использования полупроводников для создания квантовых генераторов; при этом он предложил использовать в качестве резонатора специально обработанные поверхности самого образца. В том же 1957 г. В. А. Фабрикант и Ф. А. Бутаева наблюдали эффект оптического квантового усиления в опытах с электрическим разрядом в смеси паров ртути и небольших количества водорода и гелия. В 1958 г. А. М. Прохоров и независимо от него американский физик Ч. Таунс теоретически обосновали возможность применения явления вынужденного испускания в оптическом диапазоне; они (а также американец Р. Дикке) выдвинули идею применения в оптическом диапазоне не объемных (как в СВЧ диапазоне), а открытых резонаторов. В 1959 г. вышла в свет работа Н. Г. Басова, Б. М. Вула и Ю. М. Попова с теоретическим обоснованием идеи полупроводниковых квантовых генераторов и анализом условий их создания. Наконец, в 1960 г. появилась обосновательная статья Н. Г. Басова, О. Н. Крохина, Ю. М. Попова, в которой были всесторонне рассмотрены принципы создания и теория квантовых генераторов и усилителей в инфракрасном и видимом диапазонах. В конце статьи авторы писали:

"Отсутствие принципиальных ограничений позволяет надеяться на то, что в ближайшее время будут созданы генераторы и усилители в инфракрасном и оптическом диапазонах волн". Таким образом, интенсивные теоретические и экспериментальные исследования в СССР и

США вплотную подвели ученых в самом конце 50-х годов к созданию лазера, В 1960 г. в двух научных журналах появилось его сообщение о том, что ему удалось получить на рубине генерацию излучения в оптическом диапазоне. Так мир узнал о рождении первого "оптического мазера" - лазера на рубине. Первый образец лазера выглядел достаточно скромно: маленький рубиновый кубик (1x1x1 см), две противоположные грани которого, имели серебряное покрытие (эти грани играли роль зеркала резонатора), периодически облучались зеленым светом от лампы-вспышки высокой мощности, которая змеей охватывала рубиновый кубик. Генерируемое излучение в виде красных световых импульсов испускалось через небольшое отверстие в одной из посеребренных граней кубика.

Начиная с 1961 г., лазеры разных типов (твердотельные и газовые) занимают прочное место в оптических лабораториях. Так начинается новый, "лазерный" период оптики. С начала своего возникновения лазерная техника развивается исключительно быстрыми темпами. Появляются новые типы лазеров и одновременно усовершенствуются старые.

1.2 Технология атмосферно-оптических линий связи

Технология *FSO (Free Space Optics)*, атмосферная оптическая связь, АОЛС, АОЛП, беспроводный оптический канал связи (БОКС) - это способ беспроводной передачи информации в коротковолновой части электромагнитного спектра. В ее основе лежит принцип передачи цифрового сигнала через атмосферу (или космическое пространство) путем модуляции излучения в не лицензируемом диапазоне длин волн (инфракрасном или видимом) и его последующим детектированием оптическим фото-приемным устройством. Импульс светового излучения при прохождении в атмосфере практически не испытывает дисперсионных искажений фронтов, характерных для любых оптических волокон. Это принципиально позволяет передавать поток данных со скоростями до

терабита в секунду. К основным преимуществам такого способа передачи информации можно отнести: высокие скорости передачи (которые невозможно достичь при использовании любых других беспроводных технологий), простота инсталляции, а также отсутствие необходимости платить за использование частотного диапазона. В настоящее время технология обеспечивает передачу цифровых потоков до 10 Гбит/с, что позволяет:

- решать проблемы «последней мили» при высокой защищенности канала связи;
- развивать городские сети передачи данных и голоса (*MAN*);
- развивать решения *WDM* (волновое мультиплексирование) для сетей *SONET/SDH*.

Современное состояние *FSO* технологии (беспроводной оптической связи) позволяет создавать надежные каналы связи на расстояниях от 100 до 1500-2000 м. в условиях атмосферы и до 100000 км в открытом космосе, например, для связи между спутниками. Являясь альтернативным решением по отношению к оптоволокну, атмосферные оптические линии передачи данных (АОЛП) позволяют сверхоперативно сформировать беспроводный оптический канал связи (мобильные системы с автонаведением обеспечивают установление связи за 10-15 минут) при значительно меньших затратах.

В последнее время все большую популярность приобретает применение лазерных каналов при создании охранных периметров и в системах обеспечения безопасности благодаря скрытности канала и возможности передачи качественной видеоинформации от камер наблюдения в режиме реального времени. Основными применениями технологии в настоящее время остаются: доступ на последней миле, преодоление преград, а также связь локальных сетей.

1.2.1 Анализ возможностей аппаратуры оптических систем передач

В настоящее время для организации связи в оптических линиях связи находит применение оборудование АОСП.

Данные системы имеют ряд преимуществ по сравнению с кабельными системами, которые являются существенными для организации объектовой сети связи военного назначения (таблица 1)

Таблица 1

Сравнительная таблица основных ТТХ АОСП (Artolink M1-FE-L) и ПОК (ОК-В-М-4Т)

№ п/п	Основные критерии	Атмосферно-оптическая система передачи (Artolink M1-FE-L)	Полевой волоконно-оптический кабель (ОК-В-М-4Т)
1	Скорость передачи, Мбит/с	До 125	Св. 100
2	Время развертывания, мин	Ок. 30	Ок. 77
3	Масса комплекта, кг	30	50
4	Зависимость времени развертывания от физико-географических свойств местности, времени суток, тактической обстановки	Зависит в меньшей степени	Зависит в большей степени
5	Стоимость комплекта, руб	250 000	400 000

Время развертывания АОЛС составляет в среднем 30 минут, что является значительным преимуществом перед полевым оптическим кабелем связи ОК-В-М-4Т. Поскольку в неблагоприятных физико-географических условиях местности, времени суток, тактической обстановки, время развертывания может значительно увеличиваться введу

нахождения между аппаратными связи значительных преград (реки, болота, овраги, сугробы,).

Скорость передачи АОСП 125 Мбит/с. Достаточна для организации связи в объектовой сети.

Ряд преимуществ АОСП перед полевым оптическим кабелем связи, в времени развертывания, массово-габаритных размерах, стоимости комплекта. Учитывая, что узел связи будет развертываться на открытой местности, то использование АОСП целесообразно для использования в объектовой сети.

Атмосферные оптические линии связи предназначены для создания беспроводного канала связи для применения на местных первичных сетях связи общего пользования единой сети электросвязи Российской Федерации, то есть для этого необходима соответствующая аппаратура, обеспечивающая передачу и прием цифровых сигналов с параметрами первичного сетевого стыка плезиохронной цифровой иерархии в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т G.703 по атмосферной линии связи; [2]

Аппаратура применяется в случаях, когда требуется высокоскоростное и экономичное решение задачи по организации связи между пространственно разнесенными объектами, например, при телефонизации отдельно стоящих элементов узла связи или соединении двух сегментов локальной компьютерной сети (LAN) в составе узла связи, расположенных в различных местах.

В состав аппаратуры как правило входят два идентичных поста, каждый из которых состоит из: приемо-передающего модуля (ППМ), устройства внешнего интерфейса (УВИ) и кабель внутреннего интерфейса (КВИ). Два ППМ образуют между собой атмосферный оптический тракт. УВИ выполняет функции питания изделия и организации сервисного

стыка с внешним компьютером. Между собой УВИ и ППМ каждого терминала соединяются КВИ. Для связи ППМ с аппаратурой потребителя прокладываются кабель соединительный, сигнальный (КСС).

Связь УВИ с компьютером обеспечивается через кабель связи с компьютером (КСК). Для удаленного контроля работоспособности и состояния АОЛС, а также управления его отдельными функциями используется специализированное программное обеспечение (ПО).

Аппаратура, в зависимости от исполнения может иметь в своем составе СПС, обеспечивающую пространственную стабилизацию атмосферной линии связи, а также УВИ-IP вместо УВИ в составе одного из терминалов, использование которого позволяет осуществлять мониторинг состояния АОЛС по IP-сети.

Рассмотрим несколько видов оборудования от различных производителей. Одним из базовых производителей является Artolink, рассмотрим архитектуру оборудования Artolink.

Оборудование данного производителя строится по схеме MIMO - 3 синфазных, но не коррелированных по несущей лазерных передатчика и две разнесенные оптические антенны с некогерентным сложением сигнала.

В аппаратуре используется канал Passive Optics с системой Active Tracking в единую функционирующую систему. Необходимость такого механизма обусловлена тем, что датчик углового отклонения (матричный фотоприемник) и объект управления (торец оптического волокна) находятся в разных физических объектах, расположенных в разных точках пространства и связанные между собой только через конструктивные элементы, подверженные деформациям, прежде всего температурным, что является одним из факторов выбора для оборудования. Для работы алгоритма используется решение по использованию воздействия атмосферного канала на наклон волнового фронта в качестве естественного модулятора пространственных координат. Особенность алгоритма проявляется в том, что чем выше турбулентность канала или его

протяженность, тем быстрее происходит подстройка всей системы, что в условиях ведения боевых действий будет большим подспорьем. Наличие такого механизма эффективно решает очень серьезную проблему стабильности взаимного наведения оптических осей основного канала друг на друга в широком диапазоне изменения температур и в течение всего срока эксплуатации оборудования. Упрощенная функциональная блок-схема оборудования приведена на рисунке 1.1

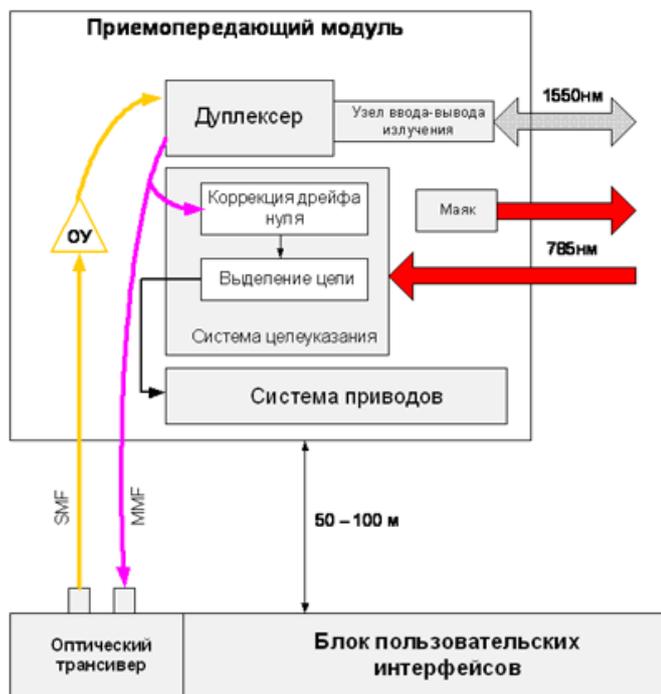


Рис.1.1. Функциональная блок-схема оборудования.

В оборудовании Artolink используется вся совокупность представленных подходов в сочетании с применением других, более известных и традиционных решений, среди которых: оптическая система дифракционного качества; оптический усилитель передаваемого сигнала; пространственное волновое мультиплексирование; прецизионный механизм наведения на шаговых двигателях; коммутатор входных сигналов с поддержкой резервного канала; - прецизионное опорно-поворотное устройство с малыми угловыми ошибками наведения; оптический прицел; герметизированные оптоволоконные стыки и другие решения и др. Использование всего комплекса приведенных решений в

структуре оборудования обеспечивает в серийных образцах скорость передачи 1,25 Гбит/с на трассах до 5 километров с уровнем битовой ошибки не хуже 10^{-9} , что для полностью будет соответствовать требованиям военных систем передач в случае использования АОЛС в качестве резерва линии связи на различных узлах связи. [4]

1.2.2 Технические характеристики

Название технологии: *FSO\АОЛС\ Wireless Optic.*

Частота: 400 Тера Гц, не требует лицензии.

Скорость передачи данных: 100 Мбит/с (на дистанциях до 1800 м, при хороших условиях), 10 Мбит/с (при плохих погодных условиях и других негативных факторах).

Максимальная дальность передачи сигнала: 1-1,8 км.

Стоимость базового оборудования: от 100 до 950 тыс. руб.

Надежность: высокая, при правильном креплении оборудования и небольшой дистанции.

Помехозащищенность: подверженности воздействию электромагнитных помех нет.

Зависимость от погодных условий: достаточно сильная, особенно от туманов и снегопадов.

Безопасность: очень высокая (узкая направленность лазерного луча почти исключает вмешательство посторонних).

1.2.3 Особенности и преимущества.

Организационные преимущества.

- Не использует радиодиапазон и не создает помех в радиочастотном спектре.

Вследствие этого данное оборудование не попадает под действие Закона, регламентирующего работу с радиосредствами, т.к. под радиооборудованием подразумеваются системы, работающие в диапазоне до 400

ГГц. Реальные частоты оптических систем в тысячи раз выше установленного предела. Установка оптических систем не приводит к нарушению работы радио систем и оборудования.

- Не требует разрешений ГКРЧ и других регулирующих органов.

Это прямое следствие первого преимущества оптических систем. В городах, а особенно, в мегаполисах доступные частоты настолько сильно «заселены», что это очевидное преимущество играет доминирующую роль. Время, необходимое на подготовку и получение документов для эксплуатации радиосистем составляет около полугода, если вообще свободный диапазон есть в наличии.

- Простота установки и подключения.

Оптическое оборудование требует минимальных мощностей для работы, подключается, чаще всего, непосредственно в порты стандартного сетевого или телекоммуникационного оборудования и не требует много места для размещения.

- Малое время развертывания.

Это прямое следствие предыдущего преимущества. В некоторых случаях необходимо быстрое развертывание соединений. ИК системы здесь вне конкуренции, так как пара подготовленных специалистов может установить систему за 1–2 часа для больших дистанций (более 1 км), и за 15–20 минут – для коротких дистанций. При сравнении всегда надо учитывать подготовительный этап, который для микроволновых систем может растянуться на месяцы из-за необходимости в различных согласованиях и разрешениях.

Технические преимущества

- Не чувствительна к радиопомехам.

Установка беспроводных оптических систем возможна даже в зонах с высокими помехами от радиооборудования или промышленного оборудования, где использование радиосистем проблематично.

- Полная пропускная способность канала.

Пропускная способность канала связи используется полностью, без издержек на организацию соединения и поддержания его в активном состоянии.

- Прозрачный механизм передачи.

Прозрачность технологии передачи приводит к тому, что, на самом деле, ИК системы являются всего лишь конверторами среды передачи и логически эквивалентны обычному оптическому кабелю, для которого нет особой разницы в протоколах передачи т.п.

- Близкая к нулю задержка в канале.

Отсутствие сложных преобразований сигнала приводит к тому, что задержка в канале передаче, вносимая оптической системой, становится ничтожной.

- Отсутствует принципиальное ограничение на скорость передачи.

Это одно из ключевых технических преимуществ оптических систем связи, которое вызвало бурный рост интереса к технологии среди производителей и потенциальных заказчиков.

- Устойчивость к температурным и климатическим изменениям.

В подтверждение этому можно сказать, что беспроводные оптические системы работают как в районах крайнего севера, так и в условиях тропической жары.

- Высокая закрытость канала.

Ни одна беспроводная технология передачи не может предложить такую конфиденциальность связи. Перехватить сигнал можно только установив сканеры-приемники непосредственно в луч от передатчиков. Реальная сложность выполнения этого требования делает перехват практически невозможным. Наличие лазерных лучей нельзя определить с помощью различных сканеров.

1.2.4 Недостатки технологии АОЛС/FSO.

1. Зависимость от погодных условий (тумана, снегопадов, но зато даже сильный ливень не уменьшает качество сигнала);
2. Строгий лимит по расстоянию между передатчиком и приемником;
3. Для качественной работы сети нужно прочное крепление оборудования, поскольку смещение (ветер, механические нагрузки и проч.) передатчика или приемника ухудшает связь;
4. Обязательное условие использования оборудования-зона прямой видимости.

1.3 Сравнительный анализ оборудования АОЛС различных производителей

Основные производители на рынке оборудования АОСП отечественных и зарубежных производителей являются: ЛАНтастИКа (Россия), БОКС (беспроводные оптические каналы связи) (Россия), Artolink (Россия), PAVLight (Англия), ONAbeam™(Канада). Ниже приведен подробный анализ ТТХ и выбор модели для дальнейшего исследования и разработки АОЛС военного назначения.

Система ЛАНтастИКа-3Speed



Рис. 1.2: Модель ЛАНтастИКа-3Speed

- Система позволяет создавать помехозащищенное беспроводное оптическое Ethernet carrier class соединение на скорости до 2000 Мбит/с между сегментами Ethernet с адаптивно изменяемой скоростью и энергетикой в зависимости от состояния оптического тракта. Преимущественно (до 99% времени) такое соединение будет работать как канал Gigabit Ethernet, а в остальное время как Fast Ethernet (200Мбит/с) и/или Ethernet (20Мбит/с) и/или со скоростью резервного WiFi или DSL канала.

Основные характеристики

- Скорость 1000 или 100 или 10 Мбит/с в полнодуплексном режимах, адаптивно выбираемая в зависимости от состояния оптического тракта.
- Стандарт IEEE 802.3az 1000Base-T (медная витая пара), IEEE 802.3u 100BASE-TX Fast Ethernet (медная витая пара), IEEE 802.3 10Base-T Ethernet (медная витая пара).
- Приемники на лавинных фотодиодах обеспечивают высочайшую чувствительность на пределе возможного.
- Помехозащищенное кодирование в оптическом тракте.
- Поддержка переключения на резервный DSL или WiFi канал при выборе нижнего из разрешенных в системе скоростных режимов.
- Поддержка протоколов TELNET, SNMP, FTP, DHCP, NTP, DNS, HTTP, TFTP + VLAN.
- Возможность обновления программного обеспечения.
- Поддержка режимов Auto Negotiation и Auto MDIX.
- Автоматическое управление обогревом оптических элементов.
- Рекомендованная дистанция для использования 1000 м.

- Среднее время безотказной работы (MTBF) 50000ч.
- Максимальная потребляемая мощность устройства, Вт: 15 Ватт в теплое время года и 65 Ватт в холодное время года
- Диапазон рабочих температур: -50°C...+50°C
- Влажность: 0...100%
- Размеры одного устройства, мм: 505 x 142 x 250
- Количество X Вес устройства (без кронштейнов), кг: 2 x 10 [12]

Беспроводные Оптические Каналы Связи (БОКС) серии 100М ТС-1 (Fast Ethernet) (Россия)



Рис 1.3: Модель БОКС 100М ТС-1

Назначение моделей

Данная серия моделей позволяет создавать беспроводное оптическое соединение для активного оборудования с интерфейсом 10Base-T/100Base-TX Fast Ethernet (медная витая пара).

Основные характеристики

- Стандарт IEEE 802.3u 100BASE-TX Fast Ethernet (медная витая пара), IEEE 802.3 10Base-T Ethernet (медная витая пара)

- Скорость 20/200 Мбит/с в полнодуплексном режиме
- Среднее время безотказной работы (MTBF), часов: 100000
- Максимальная дистанция в условиях чистой атмосферы (0 дБ/км): 3000м.
- Максимальная потребляемая мощность (с одной стороны канала), Вт: 105
- Диапазон рабочих температур: -50°C ... +50°C
- Влажность: 0...100%
- Класс защиты: Всепогодное исполнение IP67
- Размеры одного устройства, мм: 505x142x250
- Количество X вес устройств, кг: 4 x 8
- Приемники на лавинных фотодиодах с поддержкой технологии Super Avalanche
- Передатчики на лазерных диодах 780нм (класс лазерной безопасности 1) и/или светодиодах 870нм (+- 50м)
- Поддержка режима Auto Negotiation
- Возможность переключения на скорость 10Мбит/с в случае необходимости повышенной помехоустойчивости
- Экранированная витая пара STP 5 категории от активного порта до блока доступа длиной 65-95 метров и SFTP 7 категории от блока доступа до приемника/передатчика длиной 5÷35 метров
- Диагностическая индикация:
 - корректность подключения передатчика/приемника
 - наличие сигнала Link от подключаемого оборудования
 - уровень излучения, уровень принимаемого сигнала

PAVLight PL-622/3TX Атмосферная оптическая система передачи
(Англия)



Рис. 1.4: Модель PAVLight PL-622/3TX

PL-622/3TX – атмосферная оптическая система передачи данных телекоммуникационной серии PAVLight STM-4, предоставляющая канал связи протяженностью до 1500 метров и пропускной способностью 622 Мбит/с в сетях SDH.

Модульный конструктив приемо-передающих блоков, простая процедура наведения оптического канала, использование существующих площадок для установки телекоммуникационного оборудования, общедоступные материалы и инструменты, применяемые при монтаже и подключении – все это делает легким и быстрым освоение FSO-систем, дает возможность оперативного развертывания надежного канала связи.

Технические характеристики

Максимальная дистанция установки: 1500 м

Минимальная дистанция установки: 200 м

Скорость передачи данных: от 1.5 до 622 Мбит/с

MTBF: 105000 часов

Количество передатчиков: 3

Тип излучателя: полупроводниковый ИК лазерный диод

Суммарная выходная мощность: 75 мВт

Длина волны: 830 нм

Класс лазера: II

Расходимость луча: 3 мрад

Индикация: питание

Тип приемника: лавинный фотодиод (APD)

Входная мощность: $-45 \dots -20$ дБм

Зона приема: 15°

Индикация: питание, готовность оптического канала, уровень сигнала в приемнике, готовность служебного канала

Напряжение питания: от 19.5 до 72 В (постоянный ток)

Потребляемая мощность: 15 Вт

Размеры (Ш x В x Д): 350 x 390 x 550 мм

Масса: 14.9 кг

Рабочий температурный диапазон: $-40^\circ \dots +65^\circ\text{C}$

Влажность: 95% (без конденсата)

Исполнение корпуса: всепогодное, класс защиты IP66 [10]

Тактико-технические данные модели FSONA.



Рис. 1.5: Модель *FSONA*

Семейство *SONAbeam*™ продуктов предлагают скоростью передачи данных от 1,5 Мбит до 2,5 Гбит охватывающих *Ethernet*, *Fast Ethernet* к *Gigabit Ethernet* и за его пределами. Вся линейка продуктов *SONAbeam*™ является независимым протоколом для бесшовной интеграции в любую сеть и предлагает связь на расстояниях до 7 км.

Технические характеристики *SONAbeam 155-E*:

Скорость передачи данных: *Fast Ethernet*: 125 Мбит, полный дуплекс;

ОС-3 / *STM-1*: 155 Мбит, полный дуплекс;
 Дальность: 3 дБ/км чистый воздух: 50м до 3200м;
 10 дБ/км экстремальный дождь: 50м до 1600м;
 Выходная мощность лазера: 320 мВт;
 В свободном пространстве длина волны: 1550 нм
 Прием диафрагмы: 10 см (4 дюйма),(Эффективная чистая апертура)
 Опция Интерфейс: 1-1000-*Base-SX* (850 нм);
 Опция Интерфейс: 2-1000-*Base-LX* (1310 нм);
 Рабочая Температура: -40°C До 60°C (-40 ° F до 140 ° F);
 Размеры: 25 x 33 x 46 см;
 Вес: оптическая головка: 10 кг;
 Входное напряжение: -48 В постоянного тока (-40 В до -57 В) или (100-240);
 Потребляемая мощность (электроника и обогреватель): 40 Вт;
 Подогрев заднего стекла;
 Предотвращает запотевание, накопление снега/мокрого снега;
 Лазерное охлаждение: до 35°C;
 Состав: алюминиевый корпус/сталь крепление;
 Элемент управления и контроля: интерфейс управления *USB*, последовательный и 10/100-BaseT, *SNMP*;
 Интерфейс командной строки: через *USB*, *RS232* или *IP*-адрес.
 Основные параметры мониторинга: Прием силы сигнала, токи, источник питания и напряжения, лазерные токи, мощность лазера (уровни APC), лазерные температуры, внутренняя температура, восстановление тактовой частоты/состояния синхронизации, состояние сигнала сетевого интерфейса.

Тактико-технические данные оборудования Artolink.

Рабочие дистанции для модели M1-10GE достигают 2,5км, что

вполне достаточно для решения проблем со связью на так называемой «последней миле».

В процессе эксплуатации приёмо-передающие модули в автоматическом режиме наводятся друг на друга, обеспечивая максимальную точность и максимальный бюджет линии, что гарантирует высокое качество связи.

Данный продукт работает на длине волны 1550нм, что обеспечивает широкий спектр безопасности и эксплуатационных преимуществ. С одной стороны, в этом диапазоне длин волн наблюдается меньшее влияние атмосферы, с другой - допустимо многократное увеличение мощности передатчиков. Это обеспечивает высокий бюджет линии, позволяя, но при этом с существенным запасом укладываться в нормы класса лазерной опасности 1М – абсолютно безопасного для зрения.

Беспроводные линии связи *Artolink* эксплуатируются в разных климатических зонах, в частности, российский пакет включает расширенный температурный диапазон в минусовую сторону (до -50 градусов Цельсия), обеспечиваемый системой подогрева оптики. Применён аэродинамический кожух, защищающий внешние оптические элементы от загрязнения и положительно зарекомендовавший себя ранее. Системы *Artolink*, оборудованные данным решением, в процессе эксплуатации не требуют чистки оптики.

Инновационное опорно-поворотное устройство (ОПУ) гарантирующее удобный и интуитивно понятный процесс прицеливания, а также обеспечивает максимально жесткое фиксирование в нужном направлении затяжкой всего одного элемента.

В случае необходимости, оборудование может быть доукомплектовано резервным радиоканалом микроволнового диапазона.

Все системы *Artolink* сертифицированы. На модель M1-10GE предлагается расширенная гарантия на 2 года эксплуатации.

FSO продукты *Artolink* предназначены для обеспечения экономически эффективного, высокоскоростного беспроводного подключения для различных телекоммуникационных задач на «последней миле».

Тактико-технические данные модели M1-10GE.



Рис.1.6. Модель 10 Гбит/с *Artolink*

Узкие лучи излучения;

Длина волны 1550 нм;

Специальный интерфейс, оптимизированный для передачи в атмосфере;

Технология двойного канала с резервного источника;

Автоматический контроль излучающих средств;

Встроенный канал обслуживания;

Встроенный телескоп для легкого нацеливания;

Мониторинг IP;

Оповещения SNMP;

Основные интерфейсы:

20-портовый GbE (100M / 1G) SFP

4 TP / (100 / 1G) SFP;

3-портовый 1G / 10G SFP +;

Дополнительные интерфейсы:

с 2 по 63 E1 каналов;

Пропускная способность: 10312,5 Мбит/с;

Полный дуплекс;

Затухание на расстоянии 1 км: 28 дБ;

Задержка времени оптического канала: <0,05 мс;

Расстояния, м:

для доступности 0,997 – 1500;

для доступности 0,99 – 500;

с резервного канала:

для доступности 0,9999 – 3000;

Система Автоматическое сопровождение;

Динамический диапазон угла обработки отклонение (угол сохраняя положение), мрад (класс): 65 (3,7);

Задержка времени резервного канала: до 350 мс;

Напряжение питания: АС 90-260 В;

Постоянного тока $48 \pm 15\%$;

Потребляемая мощность: 20 (50 -с подогревом оптики) Вт;

Размеры, мм:

оптический блок - 480x300x285;

интерфейсный блок - 450x200x44;

радиоустановка - 245x225x50;

Вес, кг:

оптический блок – 6;

интерфейсный блок – 2;

Длина кабеля, м: <50;

Управление, мониторинг:

UDP (фирма программное обеспечение), SNMP ловушки

Тактико-технические данные модели M1-FE-L.



Рис.1.7: Модель M1-FE-L *Artolink*.

- Для 100 Мбит/с предлагается M1-FE-L. Эта модель передает данные на скорости 100 Мбит/с на расстояния от 50 до 3000 м.
- Узкие лучи излучения;
- Специальный интерфейс, оптимизированный для передачи в атмосфере;
- Технология двойного канала с резервного напряжения питания (12/24/36/48В постоянного тока);
- Автоматический контроль излучающих средств;
- Встроенный канал обслуживания;
- Основные интерфейсы: 10/100 *Base-TX*;
- Дополнительные интерфейсы: с 2 по 24 E1 каналов;
- Длина волны: 785 нм;
- Пропускная способность: 131 Мбит/с;
- Полный дуплекс;
- Задержка времени оптического канала: <0,25 мс;
- Расстояния:
 - для доступности 0,99 – 2400м;
 - для доступности 0,997 – 1200м;
 - для доступности 0,999 – 600м;
 - с резервного канала:
 - для доступности 0,9999 – 7000м;
- Система Автоматическое сопровождение;
- Динамический диапазон угла обработки отклонение (угол сохранения

- положения): 50(3) мрад (класс);
- Скорость регулирования: 8 мрад/с;
- Задержка времени резервного канала: до 350 мс;
- Напряжение питания: АС 90-260 В;
- Постоянный ток $48 \pm 15\%$;
- Потребляемая мощность: из полосы 20 (60 - с подогревом оптики) Вт;
- Размеры, мм:
 - оптический блок - 555x400x225;
 - интерфейсный блок - 450x280x40;
 - радиоустановка - 200x200x70;
- Вес, кг:
 - оптический блок – 13;
 - интерфейсный блок - 2,5;
- Длина кабеля: 100 м
- Управление, мониторинг: UDP (фирма программное обеспечение), Web, SNMP, RS-232 [11]

Проведя анализ приведенного оборудования, можно сделать вывод, что при разработке объектовой сети связи военного назначения целесообразно использовать модель АОСП Artolink M1-FE-L. Эта система обеспечивает передачу данных на скорости 125 Мбит/сек, что достаточно для организации связи в объектовой сети.

Данная модель имеет преимущество перед моделью M1-GE, в том, что эта она позволяет работать на дистанциях до 400 м без системы автоматического наведения.

Угловые размеры пучка излучения передатчика и поля зрения приемника при сохранении высокого энергетического потенциала устройства оптимизированы, что обеспечивает работоспособность АОЛС без системы автоматического наведения.

Кроме того, на базе Военной академии связи был проведен эксперимент по использованию аппаратуры АОСП для организации

связи между двумя аппаратными на базе шасси КамАЗ-5350. Оборудование устанавливалось на крышу КУНГа аппаратной. После установления связи было осуществлено естественное воздействие на аппаратную связи, путем открывания/закрывания двери КУНГа и передвижении по нему экипажем аппаратной. Данное воздействие оказало вибрацию на КУНГ и впоследствии на оборудование АОСП. Система автоматической стабилизации не успевала подстраиваться под вибрацию объекта, что приводило к разрыву атмосферной линии и потери канала связи. Данного недостатка лишена модель М1-FE-L.

Стоимость оборудования М1-FE-L (250 000 руб. за комплект) меньше стоимости М1-GE (950 000 руб. за комплект).

Вывод: В главе представлен анализ принципов работы атмосферных оптических линий связи, проведен анализ АОСП и ПОК. Исходя из анализа факторов, влияющих на работу АОЛС, тактико-технических данных оборудования АОЛС произведен выбор модели оборудования для дальнейшего исследования и расчета объектовой сети связи военного назначения.

2. Расчет АОЛС специального назначения

3.

2.1. Анализ факторов, влияющих на функционирование атмосферных оптических линии связи.

Ведение боевых действий ВС РФ может осуществляться и в любой момент времени, в любое время суток, в любой точке нашей планеты, но этому будут способствовать, либо наоборот препятствовать определенные физико-географические условия, поэтому рассмотрим влияние этих условия на возможное использование в качестве резерва связи атмосферной оптической линии. На АОЛС влияют четыре основных гидрометеорологических фактора, таких как туман, дождь, снег, высотные здания (если они имеются).

При расчёте АОЛС должны быть рассмотрены следующие явления:

во-первых, потери на поглощение в атмосфере;

во-вторых, рассеяние в атмосфере и турбулентность атмосферы;

в третьих, условия микроклимата и местные эффекты;

в четвёртых, протяженность линии и неточность установки линии.

При этом учитывают длину волны и скорость передачи данных и окружающее солнечное излучение.

Для работы АОЛС требуется прямая видимость. Так как АОЛС используют расширение луча и колиммированный луч, предусматривают зазоры между центром луча и любыми препятствиями, равные радиусу луча. Это отличает эти системы от систем радиосвязи.

Основным недостатком систем АОЛС является их подверженность влиянию атмосферных явлений, таких как ослабление и мерцание, которые могут понизить готовность линии. Узкий луч также приводит к тому, что правильная установка терминала лазерной связи становится более критичной, чем для обычных радиосистем.

Ключевым параметром при разработке линий АОЛС является расчет бюджета линии M_{link} , дБ [1]:

$$M_{link} = P_b - S_r - A_{geo} - A_{atmo} - A_{scintillation} - A_{system} \quad (2.1)$$

где:

P_b (дБм)- общая мощность излучателя;

S_r (дБм)- чувствительность приемника, которая также зависит от ширины полосы (скорости передачи данных);

A_{geo} (дБ)- геометрическое ослабление линии из-за рассеивания передаваемого луча с увеличением расстояния;

A_{atmo} (дБ)- ослабление в атмосфере, обусловленное поглощением и рассеянием;

$A_{scintillation}$ (дБ)- ослабление из-за турбулентности атмосферы;

A_{system} (дБ): представляет все остальные потери в системе, включая ошибки в установке направления луча, оптические потери приемника, потери из-за отклонения луча, уменьшение чувствительности вследствие воздействия окружающей освещенности (солнечного излучения).

При планировании АОЛС необходимо учитывать превалирующие погодные условия, характерные для данной географической области, физические препятствия и типы поверхности на трассе, а также условия размещения приемопередатчика, которые гарантировали бы оптимальное качество работы линии.

Погодные условия и, в частности, климат в окрестностях выбранной трассы линии влияют на появление снега, дождя, измороси, тумана,

атмосферной дымки, частичек распыленных веществ, аэрозоли, пыли/песка, которые приводят к поглощению и рассеянию передаваемого сигнала.

На трассе АОЛС между излучателем и приемником следует избегать физических препятствий. Кроме того следует учитывать, что крупные деревья могут расти на 0,5–1 м в год, и плотность их листвы в течение года меняется.

Должны учитываться и тепловые потоки. Горячий воздух от поверхности поднимаясь и пересекая трассу АОЛС линии и приведут к появлению турбулентности, результатом которой может стать заметное мерцание на приемнике.

На качество линии могут заметно повлиять топография и тип поверхности, лежащей под трассой прямой видимости АОЛС. На линиях АОЛС, пересекающих долины рек или части открытого моря, частым явлением может быть туман. Находящиеся под линией связи здания и сооружения могут стать причиной дополнительной тепловой активности в воздухе над ними, что может привести к усилению мерцания принимаемого сигнала.

Особое внимание уделяется монтажу приемопередатчика. У большинства АОСП узкий луч, и, в результате, точность установки излучателя и приемника является критичным параметром. Любые неточности установки могут привести к значительным потерям сигнала. Телескопические мачты должны быть устойчивыми. Движение в результате дифференциальных термальных расширений или вибраций под воздействием ветра, должно быть минимизировано.

Геометрическое ослабление. Даже при ясной погоде луч расходится и, в результате, детектор принимает сигнал меньшей мощности. Ослабление из-за рассеивания передаваемого луча с увеличением расстояния называется геометрическим ослаблением, и оно вычисляется как:

$$A_{geo}(\text{дБ}) = 10 \log_{10} \left(\frac{S_d}{S_{capture}} \right), \quad (2.2)$$

где:

$S_{capture}$ - поверхность захвата приемника (м^2);

S_d - площадь поверхности луча передачи на расстоянии d , которая аппроксимируется выражением:

$$S_d = \frac{\pi}{4(d \times \theta)^2}, \quad (2.3)$$

где:

θ - угол расхождения луча (мрад);

d - расстояние между излучателем и приемником (км).

На коротких линиях площадь захвата может быть больше площади луча. В этих случаях значение A_{geo} должно быть равным нулю, поскольку в приемнике собирается вся энергия луча.

Специфическое ослабление в атмосфере γ_{atmo} (дБ/км) можно записать в виде суммы двух слагаемых:

$$\gamma_{atmo} = \gamma_{clear_air} + \gamma_{excess}, \quad (2.4)$$

где:

γ_{clear_air} - специфическое ослабление в условиях чистого воздуха (из-за наличия молекул газов);

γ_{excess} - специфическое ослабление из-за возможного наличия тумана, водяных брызг, дымки, измороси, дождя, снега, града и т. п.

Атмосфера – эта среда передачи, изменяющаяся во времени, и, в результате, Y_{atmo} является стохастическим процессом. Однако, как показано в выражении (1.1), установление пределов готовности системы и влияние этого процесса, как правило, рассматривается статистически. Энергетический потенциал M_{link} представляет собой величину ослабления, которая может быть допустимой в данной системе на данном расстоянии.

Специфическое ослабление в условиях чистого воздуха Y_{clear_air} .

Ослабление в условиях чистого воздуха представляет собой, главным образом, поглощение в молекулах газов. Атмосферное поглощение на определенных длинах оптических волн является результатом взаимодействия фотонов с атомами и молекулами (N_2 , O_2 , H_2 , H_2O , CO_2 , O_3 и т. д.), что приводит к поглощению молекулой столкнувшегося с ней фотона и повышению ее температуры. Коэффициент поглощения зависит от:

- типа молекул газа;

- их концентрации.

Молекулярное поглощение – это явление селективное в отношении длины волны, что приводит к появлению атмосферных окон прозрачности, и атмосферных полос поглощения. Вода, CO_2 , O_3 и O_2 – это основные молекулы атмосферы, для которых свойственно высокое поглощение в полосе инфракрасного излучения.

Поскольку размер молекул газов намного меньше длины волны, то ослабление из-за рассеяния на молекулах газов незначительно.

Обычно, длины волны лазера выбираются так, чтобы они попадали в атмосферные окна передачи, поэтому величина Y_{clear_air} является незначительной. Длины волны, обычно используемые в системах АОСП, расположены вблизи 690, 780, 850 и 1550 нм. Однако, по сравнению с относительно незагрязненными пригородными районами, для работы в плотно застроенной городской местности с высоким содержанием в

воздухе частичек распыленных веществ, может быть выгодно использовать другие длины волны.

Дополнительное ослабление – это ослабление, обусловленное наличием в воздухе частичек тумана, измороси, водяных брызг, дымки, дождя, снега. Наличие этих частичек приводит к угловому перераспределению падающего светового потока, которое называется рассеянием, и уменьшает дальность распространения потока в заданном направлении. Однако здесь не происходит потери энергии, аналогичной поглощению. Тип рассеяния определяется физическим размером неоднородностей, на которых происходит рассеяние, по отношению к длине волны передающего лазера. В табл. 1.1 показано три различных режима рассеяния, зависящих от размера неоднородностей, на которых происходит рассеяние, с приблизительного соотношения длиной волны и коэффициентом ослабления для данного типа рассеяния (эффективного сечения). Кроме того, в табл. 1.1 показаны типы неоднородностей, на которых происходит рассеяние в каждом режиме для длин волн видимого спектра или инфракрасного излучения

Режимы рассеяния в зависимости от размера неоднородностей, на которых происходит рассеяние r по сравнению с длиной волны передающего лазера λ . Кроме того, показана приблизительная взаимосвязь между длиной волны и коэффициентом ослабления для данного типа рассеяния $Q(\lambda)$, вносит в общий коэффициент ослабления, рассеяние на молекулах воздуха, можно пренебречь.

Таблица 2.1

Типы неоднородностей

	Рэлеевское рассеяние	Рассеяние Ми	Не селективное или геометрическое рассеяние
	$r \ll \lambda$ $Q(\lambda) \sim \lambda^{-4}$	$r \approx \lambda$ от $Q(\lambda) \sim \lambda^{-1,6}$ до $Q(\lambda) \sim \lambda^0$	$r \gg \lambda$ $Q(\lambda) \sim \lambda^0$
Тип рассеяния	Молекулы воздуха Атмосферна я дымка	Атмосферная дымка Туман Распыленные неоднородности	Туман Дождь Снег Град

Для тех частиц, которые намного больше длины волны, рассеяние можно описать в понятиях геометрической оптики, которая не зависит от длины волны лазера. Капли дождя, снег, град, обрывки облаков и плотный туман будут приводить к геометрическому рассеянию света лазера.

Для тех частиц, размеры которых сравнимы с длиной волны лазера, может применяться теория рассеяния. Туман и распыленные неоднородности являются основными причинами процесса рассеяния.

Можно использовать аналитический подход, в котором расчетные предсказания конкретного ослабления выполняются на основании

предполагаемого распределения размеров частичек. Однако очень трудно смоделировать и измерить распределение размеров частичек любого распыленного вещества или тумана, которое является ключевым параметром для определения их физических или оптических свойств.

Оценка ослабления в тумане γ_{fog} (рассеяние Ми).

Поскольку аналитический подход не всегда можно использовать на практике, для расчета ослабления в результате рассеяния Ми используются эмпирические методы. В этих методах коэффициент ослабления из-за рассеяния Ми связывается с видимостью.

Техническое определение видимости или дальности видимости звучит так – расстояние, на котором сила света ослабляется до 2% от его начальной силы, или качественная видимость – это расстояние, на котором едва возможно различить темный объект на горизонте.

Упрощенная эмпирическая формула, для расчета ослабления в тумане, $\gamma_{fog}(\lambda)$ (дБ/км), имеет вид:

$$g(\lambda) = \frac{3,91}{V} \quad (2.5)$$

где:

V - видимость (км);

λ - длина волны (нм);

q : коэффициент, зависящий от распределения размеров рассеивающих частиц. Он определен на основании данных экспериментов и имеет значения:

$$q = 1,6$$

$$q = 1,3$$

$$6 \text{ км} < V < 50 \text{ км} \quad (2.6)$$

Для получения значения ослабления, превышаемого в течение данного процента времени p (т. е. для данной вероятности), в уравнении (1.4) требуется подставить значение видимости, которое не превышает в течение данного процента времени p .

Ослабление в дожде Y_{rain}

Ослабление в дожде Y_{rain} (дБ/км) определяется соотношением:

$$Y_{rain} = k \times R^\alpha \quad (2.7)$$

В Рекомендации МСЭ-R P.837 приводятся значения интенсивности дождя $R(p)$ (мм/ч), превышаемые в течение любого данного процента времени среднего года (p) и для всех мест размещения, а уравнение (1.6) определяет ослабление превышаемые в течение данного процента времени p .

Параметры k и α зависят от характеристик дождя, и некоторые значений, полученные на основании измерений, приведены в табл. 1.2. На рис. 1.1 и 1.2 показана связь между Y_{rain} и интенсивностью дождей R полученная с использованием параметров из табл. 1.2 для Японии.

Таблица 2.2

Параметры, используемые для оценки ослабления в дожде

Место	k	α
Япония	1,58	0,63

Франция	1,076	0,67
---------	-------	------

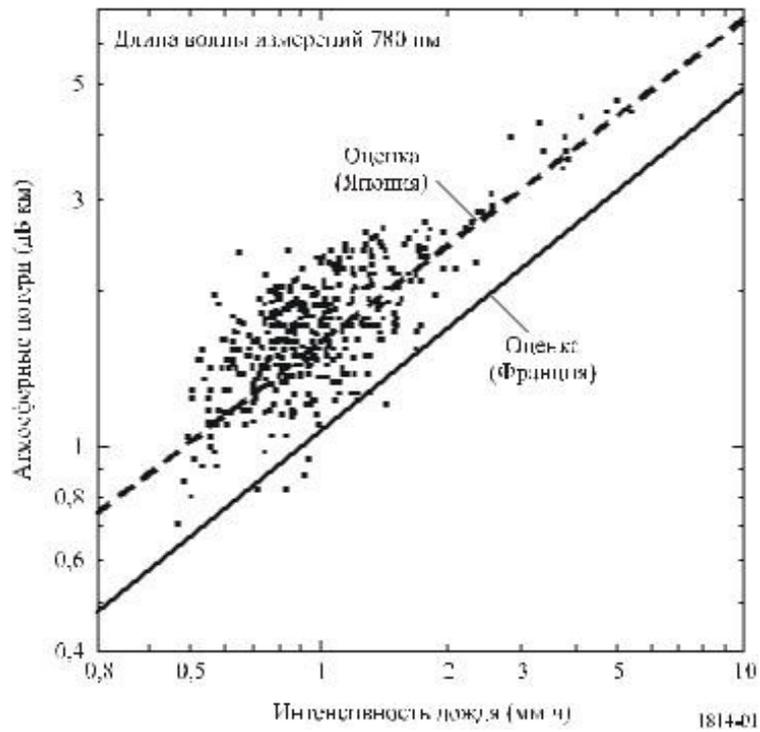


Рис. 2.1. Ослабление в атмосфере из-за дождя

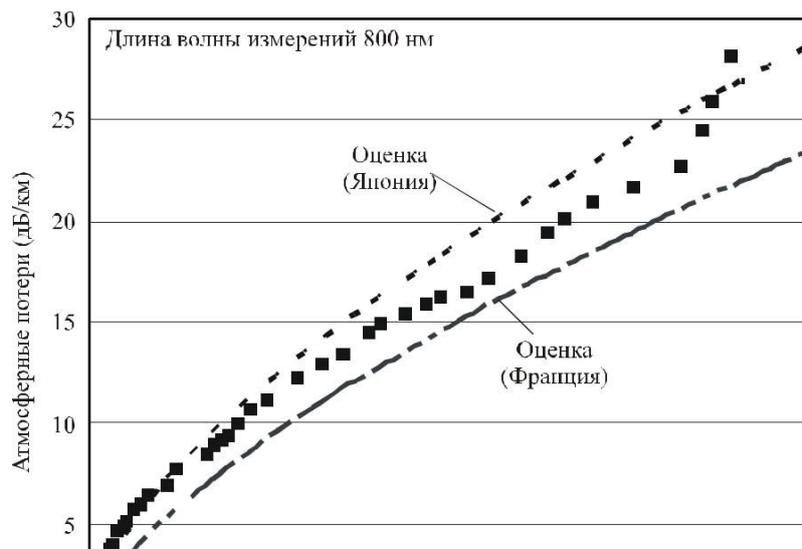


Рис. 2.2

Ослабление в снеге Y_{snow} .

Ослабление в снеге, как функция интенсивности снегопада описывается следующим соотношением:

$$Y_{snow} = \alpha \times S^b, \quad (2.8)$$

где:

γ_{snow} : ослабление в снеге (дБ/км);

S:интенсивность снегопада (мм/ч);

α и b: функции от длины волны, λ (нм). Оцененные значения для мокрого и сухого снега приведены в табл. 1.3.

Таблица 2.3

Параметры, используемые для оценки ослабления в снеге

	α	b
Мокрый снег	$0,000102\lambda + 3,79$	0,72
Сухой снег	$0,0000542\lambda + 5,50$	1,38

Влияние мерцания.

Второй по значимости атмосферный процесс, который влияет на качество лазерных систем связи – это обусловленное турбулентностью

атмосферное мерцание, которое приводят к заметным колебаниям мощности принимаемого сигнала.

Турбулентность атмосферы приводит к появлению временных воздушных ячеек со слегка различной температурой, различной плотностью и различными индексами рефракции. Данные могут быть потеряны из-за отклонения луча и мерцания, поскольку луч лазера, проходя через эти неоднородности с различным индексом рефракции, изменяет направление распространения. Значимость каждого эффекта зависит от отношения размера этих ячеек турбулентности к диаметру луча лазера.

Если размеры ячеек турбулентности больше диаметра, то весь луч лазера целиком беспорядочно искривляется, приводя к полной потере сигнала, если луч отклоняется в сторону от апертуры приемника. При более длинных волнах отклонение луча меньше, чем на более коротких длинах волн, хотя зависимость от длины волны довольно слаба.

Более широко распространена ситуация, когда размеры ячеек турбулентности меньше диаметра луча, при этом искривление луча и дифракция приводит к искажениям фронта волны луча лазера. Это приводит к флуктуациям интенсивности луча лазера во времени, которое называется мерцанием, на приемнике с частотой флуктуаций от 0,01 Гц до 200 Гц.

Влияние тропосферного мерцания обычно описывается в виде логарифма амплитуды χ (дБ) наблюдаемого сигнала ("логарифмической амплитуды"), определяемого как выраженное в децибелах отношение мгновенной амплитуды и среднего значения амплитуды. Интенсивность и частота флуктуаций (частота мерцания) растут с увеличением длины волны. Для плоской волны и слабой турбулентности изменение мерцания σ_χ^2 (дБ²) может быть выражено следующим соотношением:

$$\sigma_\chi^2 = 23,17 \times k^{\frac{7}{6}} \times C_N^2 \times L^{\frac{11}{6}}, \quad (2.9)$$

где:

$k^{\frac{7}{6}}$ - номер волны, (м⁻¹);

L - протяженность линии связи, (м);

C_N^2 - структурный параметр индекса рефракции ($\text{м}^{-2/3}$).

Мерцание имеет пик амплитуды, равный $4\sigma_\chi$, и ослабление из-за мерцания $= 2\sigma_\chi$. При сильной турбулентности наблюдается насыщение изменения, определяемого вышеприведенным соотношением. Параметр C_n^2 на оптических частотах имеет значение, отличное от значения для миллиметровых волн. Мерцание на миллиметровых волнах обусловлено, главным образом, флуктуациями влажности, тогда как мерцание на оптических частотах является, в основном, функцией температуры. На миллиметровых волнах параметр C_n^2 примерно равен $10^{-13} \text{ м}^{-2/3}$ (обычно, на миллиметровых волнах C_n^2 принимает значение от 10^{-14} до $10^{-12} \text{ м}^{-2/3}$), а на оптических частотах значение C_n^2 примерно равно $2 \times 10^{-15} \text{ м}^{-2/3}$ при слабой турбулентности (обычно, на оптических частотах C_n^2 принимает значение от 10^{-16} до $10^{-13} \text{ м}^{-2/3}$).

На рис. 2.3 показано изменение ослабления оптического луча с длиной волны 1550 нм при слабой, средней и сильной турбулентности на расстояниях до 2000 м. Заметно, что ослабление возрастает с усилением турбулентности. В табл. 2.4 показано влияние турбулентности на распространение оптических и радиоволн. Чем больше длина волны оптического сигнала, тем сильнее мерцание.

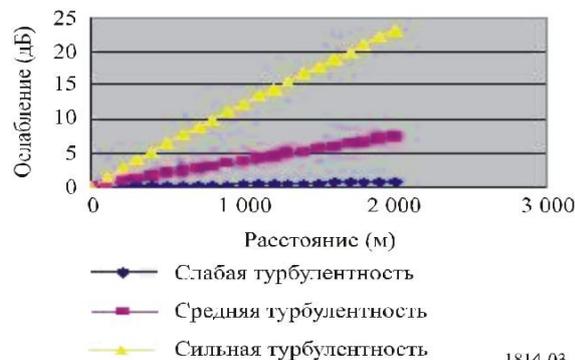


Рис. 2.3. Изменение ослабления из-за мерцания в зависимости от расстояния, для разных типов турбулентности на 1550 нм

Таблица 2.4

Таблица значений глубины замираний из-за мерцания, ожидаемого на трассе длиной 1 км.

	Турбулентность		
	Слабая	Умеренная	Высокая
C_n^2 для оптических волн ($\text{м}^{-2/3}$)	10^{-16}	10^{-14}	10^{-13}
Ослабление (0,98 мкм) (дБ)	0,51	5,06	16,00
Ослабление (1,55 мкм) (дБ)	0,39	3,87	12,25
C_n^2 для миллиметровых волн ($\text{м}^{-2/3}$)	10^{-15}	10^{-13}	10^{-12}
Ослабление (40 ГГц) (дБ)	0,03	0,09	0,27
Ослабление (60 ГГц) (дБ)	0,03	0,11	0,35

Мерцание можно уменьшить, используя либо несколько передающих лучей, либо большие апертуры приемника. Кроме того, для минимизации влияния мерцания на трассу передачи, не следует устанавливать системы АОСП вблизи горячих поверхностей. Поскольку с ростом высоты мерцание уменьшается, рекомендуется, чтобы системы АОСП размещались несколько выше крыш (>1 м) и вдали от боковой стены зданий, если системы размещаются в местности, подобной пустыне.

Допуски, распределенные для компенсации ослабления в тумане или дожде, могут также компенсировать и влияние мерцания.

Влияние общей освещенности.

Солнечная засветка возникает, когда солнце или его отражение располагается в мгновенном секторе обзора оптического приемника. Сектор приема, как правило, имеет, как минимум, такой же размер, как и угол расхождения передачи. Эта проблема становится серьезной, когда положение солнца параллельно оптической линии, и энергия солнца, попадающая внутрь приемника, больше, чем энергия света, принимаемого от излучателя.

Солнечные помехи, обычно, можно уменьшить, расположив приемник так, чтобы солнце было всегда вне главной оси приема.

На рисунке 2.4 показана геометрия пути движения солнца по небу относительно оптической линии для связи в свободном пространстве (А – приемник, В – излучатель).

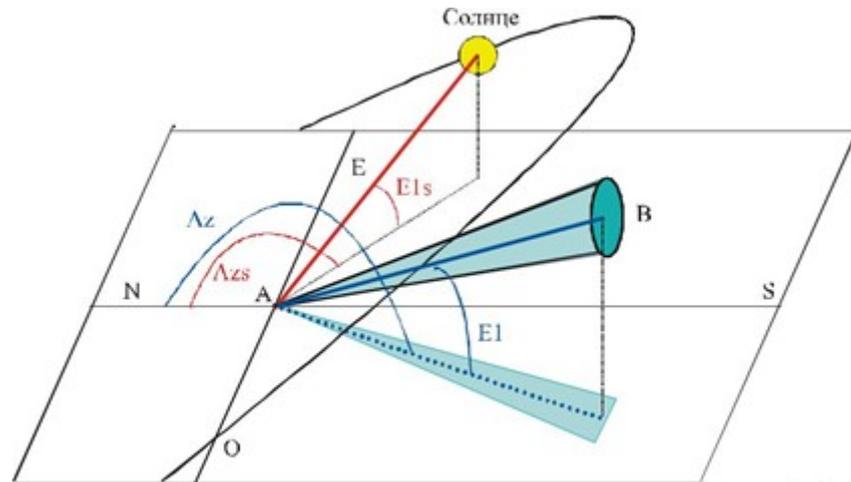


Рис. 2.4 Схема пути движения солнца относительно оптической линии для связи в свободном пространстве

Мощность, излучаемая солнцем $P_{radiated}$, ($\text{Вт}/\text{м}^2$) определяется следующим соотношением:

$$P_{radiated} = 1200 \times \cos\left(\frac{\pi}{2} - E_{LS}\right) \quad (2.10)$$

$$P_{solar} = \frac{F_{solar} \times P_{radiated} \times S_{capture} \times W_{receiver}}{100} \quad (2.11)$$

где:

F_{solar} - спектральная мощность солнечного излучения как функция от длины волны;

$S_{capture}$ - площадь поверхность захвата приемника (m^2);

$W_{receiver}$ - ширина полосы частот приемника (нм);

F_{solar} - моделируется при помощи следующего графика;

$$F_{solar} = 8,97 \times 10^{-13} \lambda^5 - 4,65 \times 10^{-19} \lambda^3 - 9,067 \times 10^{-3} + 4,05 \lambda - 5,7 \quad (2.12)$$

где:

λ : длина волны (нм).

Расчет запаса линии

Бюджет линии АОЛС рассчитывается следующим образом:

Во первых: Из уравнения (2.2) рассчитывается геометрическое ослабление A_{geo} .

Во вторых: Обычно, длины волны лазера выбираются так, чтобы они были в пределах атмосферных окон передачи, поэтому величину Y_{clear_air} можно считать незначительной. Однако отдельные оценки ослабления в чистом воздухе можно найти [5].

В третьих: Ослабление из-за тумана Y_{fog} рассчитывается из уравнений (4) и (5). При отсутствии информации о видимости для данной местности, можно использовать типовые значения видимости [6].

В четвёртых: Ослабление из-за дождя Y_{rain} можно получить из уравнения (6) и табл. 2.2.

В пятых: Ослабление из-за снега Y_{snow} можно получить из уравнения (7) и таблицы 3.

Шаг 6: Запас на замирания M_{link} (дБ) определяется по формуле:

$$M_{link} = P_r - S_R - A_{system} - A_{geo} - Y_{clear_air} \times d - Y_{fog} \times d - Y_{rain} \times d - Y_{snow} \times d$$

где:

P_e (дБм) - суммарная мощность излучателя;

S_r (дБм) - чувствительность приемника;

A_{system} (дБ) - представляет собой все потери, зависящие от системы. Они включают в себя потери из-за ошибок в установке направления луча, оптические потери приемника, потери из-за отклонения луча, уменьшение чувствительности из-за окружающей освещенности (солнечного излучения) и т. п.

Вывод: В главе представлен расчет АОЛС, с учетом анализа оборудования, выбранного для проектирования линии связи военного назначения.

3. Формулировка основных требований к оборудованию аопп при построении объектовой сети СВЯЗИ.

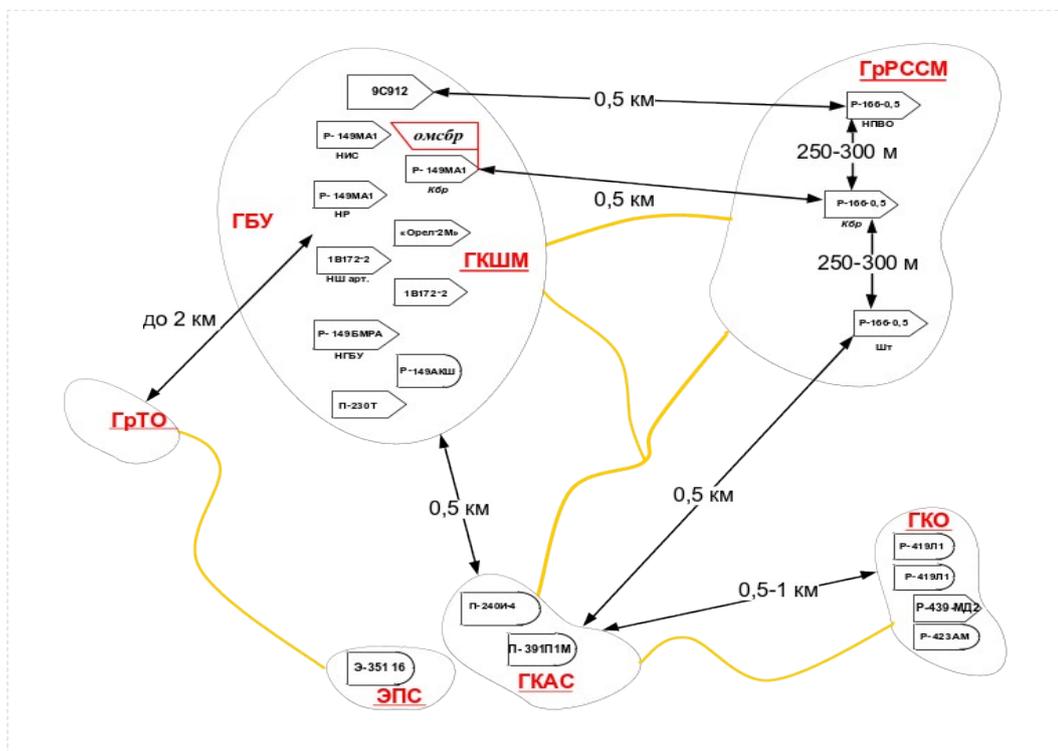


Рис 3.2. Типовое построение аппаратных, характерных для ПУС

3.1. Общая характеристика требований, предъявляемых к военной системе связи.

3.1.1. Основные задачи связи.

В соответствии с оперативно-тактическими условиями ведения боевых действий, предназначением системы управления, решаемыми войсками задачами и требованиями, предъявляемыми управлением войсками, перед связью ставятся следующие основные задачи:

1. Обеспечение устойчивой связи с вышестоящим штабом и своевременного приема сигналов боевого управления.
2. Обеспечение управления подчиненными частями (подразделениями) и оружием в любых условиях обстановки.

Управляя подчиненными войсками в бою, командир в любое время должен знать, где находятся, что делают и в чем нуждаются подчиненные ему войска,

своевременно получать разведывательные данные о противнике и влиять на ход боевых действий путем отдачи войскам дополнительных распоряжений и указаний, нанесения ядерных ударов по противнику, ввода в бой вторых эшелонов и резервов и другими имеющимися у него средствами. Поэтому связь должна обеспечивать командиру и штабу, начальникам родов войск, специальных войск и служб своевременное поступление данных о складывающейся обстановке, передачу подчиненным войскам приказов, распоряжений и команд, донесений в старший штаб и т.п.

3. Обеспечение своевременной передачи сигналов оповещения и предупреждения войск о непосредственной угрозе применения противником ОМП и ВТО, о радиоактивном, химическом и бактериологическом (биологическом) заражении.

В современных условиях эта задача связи имеет особо важное значение. При получении от разведки данных об угрозе применения противником ОМП и ВТО, о радиоактивном, химическом и бактериологическом (биологическом) заражении, а также в результате прогнозирования радиационной и химической обстановки вследствие применения противником ОМП и ВТО необходимо обеспечить быструю передачу установленных сигналов оповещения, с тем, чтобы войска, для которых создается угроза поражения, имели возможность своевременно принять меры защиты.

4. Обеспечение обмена информацией между взаимодействующими частями и подразделениями.

В современном бою важнейшим условием достижения успеха является четкое взаимодействие всех родов войск и соседей по цели, месту и времени. Для того, чтобы достигнуть поставленной цели, войска должны действовать согласованно, а это возможно только при наличии связи между ними.

5. Обеспечение управления органами боевого, технического и тылового обеспечения боевых действий частей (подразделений).

3.1.2. Требования, предъявляемые к связи.

Своевременность связи - способность связи обеспечивать передачу (доставку) документальных сообщений или ведение переговоров в заданные сроки.

Достоверность связи - способность связи обеспечивать воспроизведение передаваемых сообщений в пункте приема с заданной точностью.

Безопасность связи - способность связи обеспечивать сохранение в тайне от противника содержания передаваемых (принимаемых) сообщений и противостоять вводу ложной информации.

3.2. Принципы организации связей

Принцип организации прямых связей заключается в том, что связь от ПУ старшего штаба с ПУ подчиненных частей устанавливается непосредственно, т.е. напрямую. По этому принципу УС располагаются только на ПУ частей и подразделений (рис 1).

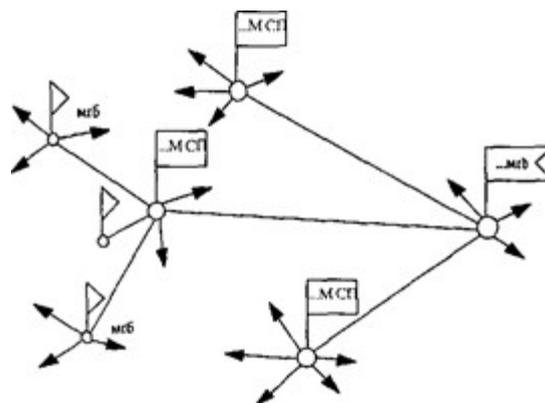


Рис 3.3. Построение системы связи по принципу организации прямых связей

Система связи, построенная по данному принципу обладает рядом положительных качеств: разворачивается в наиболее короткие сроки, проще решаются вопросы установления и обеспечения связи всех видов, четко

определяется ответственность за связь по направлениям; облегчается управление системой связи; облегчается охрана и оборона узлов связи.

Вместе с тем применение этого принципа приводит к сосредоточению на УС ПУ большого количества различных средств связи и обслуживающего личного состава, снижает эффективность использования многоканальных средств связи, затрудняет получение обходных каналов связи, повышает уязвимость системы связи от огня противника, затрудняет маскировку и снижает мобильность ПУ.

Принцип организации связи через ВУС предусматривает такую структуру построения системы связи, при которой связь от ПУ старшего штаба с ПУ подчиненных частей обеспечивается не напрямую, а через систему вспомогательных (опорных) УС.

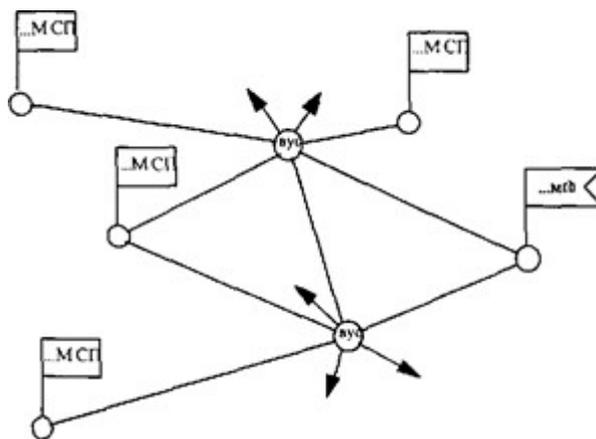


Рис 3.4. Построение системы связи по принципу организации связи через вспомогательные узлы связи

Система связи, построенная по принципу организации связи через ВУС, имеет следующие преимущества: более эффективное использование многоканальных средств; сокращение количества средств связи на УС ПУ; возможность установления в короткое время проводной и радиорелейной связи при изменении оперативно-тактического построения войск, перегруппировке и смене ПУ, возможность создания входных каналов связи; повышение мобильности УС ПУ.

Однако применение этого принципа приводит к увеличению времени на составление каналов связи при ручном способе измерения параметров каналов и их коммутации на ВУС, необходимости частых изменений в распределении каналов на ВУС, вследствие непрерывного изменения положения войск и ПУ в ходе боевых действий, усложнению управления связью, затруднено организацией охраны и обороны элементов системы связи. Указанные недостатки не позволяют в тактическом звене строить системы связи полностью (в «чистом виде») по принципу организации связи через вспомогательные узлы связи.

Поэтому практически в настоящее время при построении системы связи в тактическом звене в сочетании с принципом организации прямых связей находят рациональное применение вспомогательные УС. ВУС в дивизии используется эпизодически, преимущественно в районах сосредоточения, исходных районах и при ведении боевых действий на широком фронте.

Система связи должна создаваться и функционировать в соответствие с основными принципами организации связи: единство системы связи для всех родов войск и служб; комплексного применения средств связи на информационных направлениях; ответственности старшего штаба за связь с подчиненными; согласованного применения и тактического взаимодействия частей (подразделений) связи; строгой регламентации организации и обеспечения связи взаимодействия.

3.3 Характеристики системы связи

Устойчивость системы связи - способность системы связи обеспечивать управление войсками и оружием при всех воздействующих факторах. Устойчивость системы связи определяется ее живучестью, помехоустойчивостью и надежностью.

Живучесть - способность системы связи обеспечивать управление войсками и оружием в условиях воздействия оружия противника.

Помехоустойчивость - способность системы связи обеспечивать управление войсками и оружием в условиях воздействия помех всех видов.

Надежность - способность системы связи обеспечивать связь, сохраняя во времени эксплуатационные показатели в пределах соответствующих условий войсковой эксплуатации, технического обслуживания, восстановления и ремонта.

Мобильность системы связи - способность системы связи в установленные сроки разворачиваться, свертываться, перемещаться и изменять структуру построения в соответствии с обстановкой.

Мобильность системы связи достигается: правильным уяснением задач, поставленных старшим начальником, и четкой их постановкой подчиненным; совершенствованием тактики действий частей (подразделений) связи по разворачиванию и свертыванию узлов, станций и линий связи; высокой маршевой подготовкой и содержанием в исправном состоянии средств подвижности, способностью частей, подразделений связи выполнять задачи в любое время суток и года, а также в любых метеорологических условиях; широким использованием средств механизации работ при разворачивании узлов и линий связи; быстрым маневром каналами, силами и средствами связи; использованием средств автоматизации при планировании, установлении и обеспечении; оперативным и устойчивым управлением связью.

Пропускная способность системы связи - возможность системы связи передавать заданные потоки сообщений в единицу времени.

В целом пропускная способность системы связи определяется пропускной способностью направлений связи, то есть максимальным количеством сообщений, которые могут быть переданы на направлениях связи за определенный период времени при заданной своевременности, достоверности и безопасности передачи.

Разведзащищенность системы связи - способность системы связи противостоять всем видам разведки противника.

Из всех видов разведки противника, направленных на вскрытие системы связи, самой эффективной является радиоразведка, позволяющая в реальном масштабе времени определять местоположение и оперативно-тактическую принадлежность радиоизлучающих средств, а по их совокупности - линий и узлов связи. Поэтому, занимаясь разведзащищенностью системы связи, в первую очередь необходимо обратить внимание на защищенность ее от радиоразведки противника. Показателями разведзащищенности являются время вскрытия системы связи и время вскрытия УС ПУ.

3.4. Основные требования к оборудованию АОЛС на сетях связи специального назначения

Между двумя КАС



Рис 3.1. АОЛС с указанием расстояния между ними

Рассмотрим типовое построение группы аппаратных, характерное для ПУС (рис. 2.2.)

Исходя из расположения аппаратных, для организации атмосферных оптических линий связи между ними, оборудование должно соответствовать установленным требованиям.

Технические требования на оборудование систем передачи для сетей связи специального назначения:

1. Оборудование должно поддерживать модернизацию программного обеспечения без какого-либо влияния на работу оборудования. В случае если такая модернизация по какой-либо причине недоступна, процедура модернизации должна быть подробно описана и должна выполняться с минимальным прерыванием работы оборудования.

2. Для удобства монтажа и эксплуатации, предлагаемое оборудование должно иметь простую конструкцию, компактность, легкость в установке и обслуживании. Оборудование должно монтироваться без применения специализированного инструмента и принадлежностей, производимых поставщиком.

3. Электропитание оборудования должно осуществляться от сети вторичного гарантированного питания (источника постоянного тока) с любым из следующих значений напряжения питания: минус 24 В и минус 60 В.

4. Оборудование должно сохранять свои рабочие параметры при изменении номинального напряжения питания в пределах $-15\% + 20\%$.

5. Оборудование должно обеспечивать круглосуточную эксплуатацию в следующих климатических условиях:

температура окружающего воздуха от минус 50 С до плюс 40 С;

относительная влажность воздуха до 80% при температуре плюс 25⁰С;

атмосферное давление не ниже 60 кПа (450 мм рт.ст.).

6. Оборудование в упакованном виде должно быть устойчиво к транспортированию при температуре окружающей среды от $- 50^{\circ}\text{C}$ до $+ 50^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха 100% при температуре $+25^{\circ}\text{C}$, а также должно быть устойчиво к хранению в складских не отапливаемых

помещениях при температуре от -50°C до $+40^{\circ}\text{C}$, и среднемесячном значении относительной влажности 80% при температуре $+20^{\circ}\text{C}$.

3.4.1 Использование АОЛС в качестве оборудования “последней мили”

Проблема “последней мили” заключается в следующем – организациям, предоставляющим услуги доступа к *Internet* (или другой вычислительной) конечным пользователям (такие организации часто именуют *ISP - Internet Service Provider*) необходимо организовать каналы связи многих территориально разбросанных пользователей с единой точкой доступа. Причем распределение пользователей на местности может быть таково, что каждому из них может потребоваться свой индивидуальный канал доступа. Обычно в этом случае применяется доступ по телефонным каналам (*dial-up*) и проводным выделенным линиям. Технология АОЛС предлагает альтернативную схему подключения (рис.2.1).

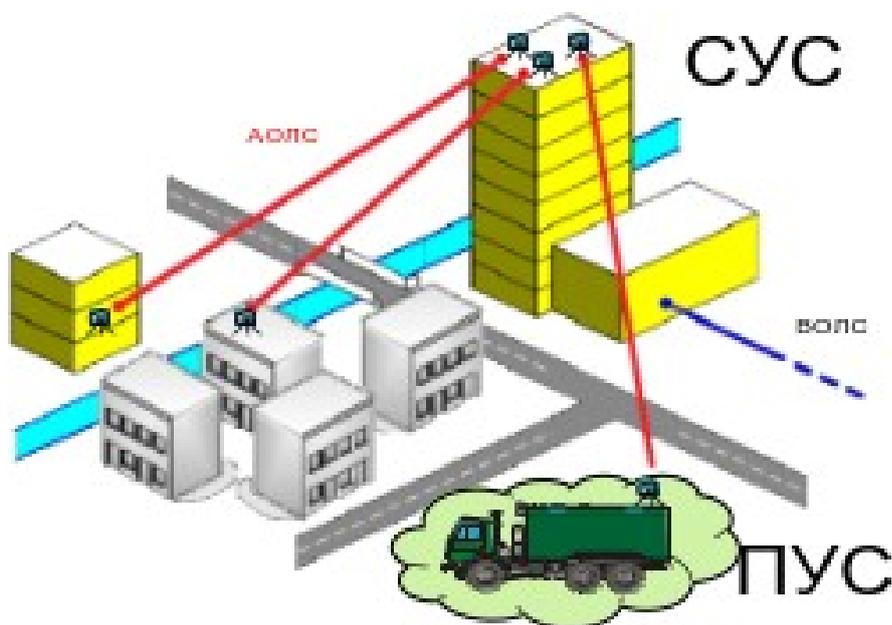


Рис.2.1. Альтернативная схема подключения

Пользователи могут располагаться на большом расстоянии от точки доступа, поэтому необходима большая дальность связи (порядка нескольких километров)

Ширина канала ограничена потребностями одного пользователя, поэтому, поэтому возможно применение относительно низкоскоростных устройств (до 1 Мбит/с).

Требования к доступности канала могут колебаться в больших пределах, но, как правило, доступность канала порядка 98% - 99% времени вполне устраивает пользователя. Это позволяет увеличить дальность связи.

3.4.2 Использование АОЛС для связи сегментов ЛВС.

Типичный случай – объединение пользователей внутри здания с помощью проводных технологий (витой пары, коаксиального кабеля), а связь между зданиями организуется с помощью АОЛС (рис.2.2.).

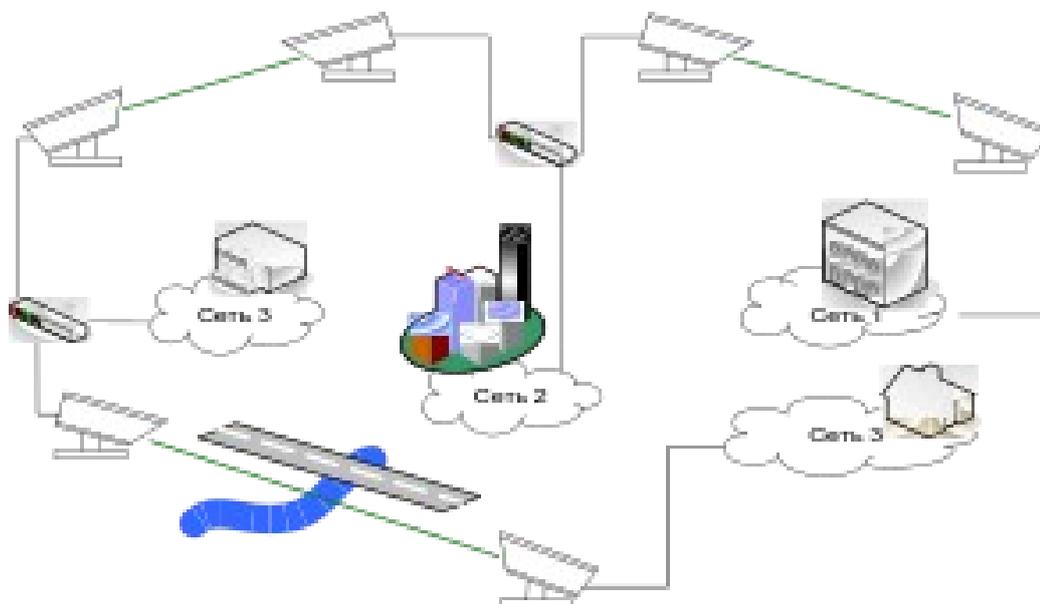


Рис. 2.2. Использование АОЛС для связи сегментов ЛВС

3.4.3 Требования к каналу АОЛС.

Основное требование, высокое быстродействие. Т.е. решения, не обеспечивающие скорость хотя бы 10 Мбит/с не находят применения. Оптимальным является использование каналов 100 Мбит/с или 1 Гбит/с.

Необходимая дальность связи может достаточно сильно колебаться (от 10 метров до нескольких километров), но, как правило, не превышает 1 км.

Высокая надежность – доступность канала должна быть более 99,999%

Система юстировки и автонаведения, дрейф опорных конструкций (домов, столбов, мачт) под действием ветра, нагрева и других природных факторов слабо сказывается на уходе оптического луча от оптимального направления. Угловые колебания зданий практически всегда лежат в пределах около 0,5 мрад.

Канал АОЛС реализует физическую среду передачи данных и прозрачен для программного обеспечения (далее ПО) станций сети. Это позволит использовать любое ПО, обеспечивающее передачу данных по тому типу сегмента сети, в которую включен канал АОЛС. Однако необходимо разработать программу мониторинга параметров АОЛС, которая будет с оборудованием АОЛС, получать информацию о ее состоянии и управлять ее параметрами в соответствии с командами пользователя. Для этого в оборудовании АОЛС должен быть предусмотрен отдельный интерфейс.

Очевидно, при использовании АОЛС невозможен компромисс между дальностью передачи и доступностью канала. В этом случае необходимо применять мощные передатчики и высокочувствительные приемники или резервирование с помощью другого канала. Например, в качестве резерва для высокоскоростной АОЛС может использоваться более медленный проводной канал.

Другим эффективным решением является дублирование АОЛС с помощью радиоканала. В этом случае существенно повышается дальность передачи, т.к. не существует погодных условий, препятствующих работе

одновременно обоих каналов, т.о. возможно использование как АОЛС, так и радиоустройств практически на предельной дальности, не создавая запас мощности на случай плохих метеоусловий (для АОЛС наихудшими условиями является туман, для радио – дождь. Причем одновременное их появление невозможно).

Рассмотрим схему подключения канала АОЛС к ЛВС или отдельной ЭВМ. Один из возможных вариантов представлен на рис.2.3.

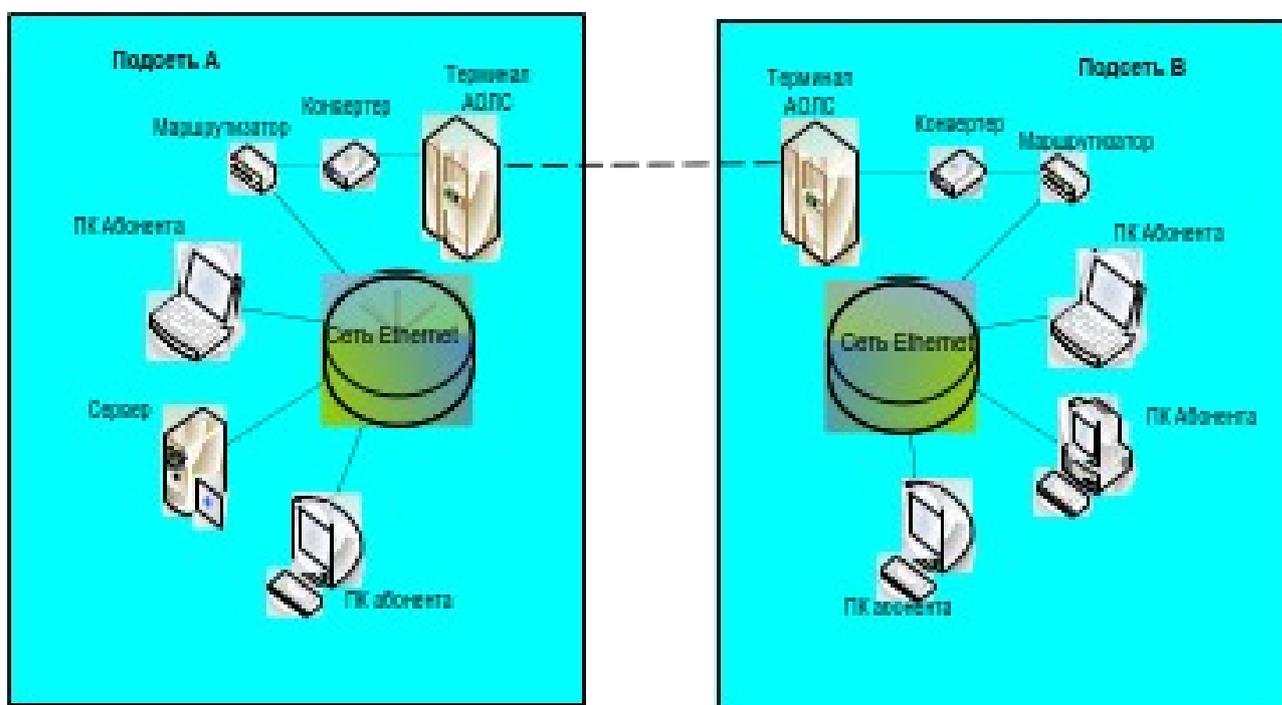


Рис. 2.3. Один из вариантов подключения канала АОЛС между двумя подсетями.

При простейшей реализации канала АОЛС он прозрачен на физическом уровне и представляет собой просто “удлинитель” среды передачи, т.е. передатчик АОЛС выполняет только простейшее преобразование сигналов (например, напряжение в мощность оптического сигнала), не затрагивая даже способ кодирования. Приемник выполняет обратное преобразование, т.о. обеспечивается минимальная задержка в распространении сигнала (порядка нескольких битовых интервалов), а весь контроль корректности и защиты

передачи ложится на узлы сети. В этом случае канал АОЛС может совсем не иметь цифровых схем и представлять аналоговый модулятор (передатчик) и усилитель (приемник) с соответствующим оптическим оборудованием. В более сложном случае, канал АОЛС обеспечивая прозрачность на физическом уровне, дополнительно выполняет некоторые интеллектуальные функции:

Перекодировка сигнала;

Представление последовательного сигнала, поступающего на вход передатчика, в другом коде с повышения надежности передачи и снижения требования к пропускной способности канала;

Повышение надежности передачи за счет перекодирования в код с большей избыточностью или за счет повторной отправки поврежденных пакетов;

Шифрование информации;

Мультиплексирование нескольких каналов;

В этом случае задержка, вносимая каналом, существенно возрастает.

Еще один вариант, это реализация канала АОЛС на канальном уровне или сетевом уровне. В этом случае устройства АОЛС реализуют функции коммутатора или маршрутизатора. Это увеличивает сложность оборудования АОЛС, но позволяет более гибко управлять передачей. Очевидно, что задержка, вносимая каналом в этом случае, максимальна.

3.4.4 Создание магистральных каналов на основе АОЛС.

В этом случае к каналам предъявляются очень жесткие требования:

- максимально высокая скорость передачи (порядка нескольких Гбит/с);
- высокая надежность – доступность канала должна быть более 99,999%;
- высокая дальность связи (порядка десятков километров).

Очевидно, здесь невозможен компромисс между дальностью передачи и доступностью канала. В этом случае необходимо применять мощные передатчики и высокочувствительные приемники или резервирование с помощью другого канала. Например, в качестве резерва для высокоскоростной АОЛС может использоваться более медленный проводной канал. Другим эффективным решением является дублирование АОЛС с помощью радиоканала. В этом случае существенно повышается дальность передачи, т.к. не существует погодных условий, препятствующих работе одновременно обоих каналов, т.о. возможно использование как АОЛС, так и радиоустройств практически на предельной дальности, не создавая запас мощности на случай плохих метеоусловий (для АОЛС наихудшими условиями является туман, для радио – дождь. Одновременное их появление - невозможно).

3.5. Анализ вариантов применения оборудования АОЛС на сетях связи специального назначения.

За последние годы, достигнут значительный прогресс в создании атмосферно-оптических систем передачи (АОСП), способных повысить качество и эффективность передачи информации различного вида, расширить услуги связи, снизить трудо- и материалоемкость при их применении. Они обладают целым рядом указанных выше достоинств, позволяющих обеспечить возможность оперативного развертывания линий с большой пропускной способностью, в том числе в труднодоступной местности, с преодолением водных и иных преград. При этом отпадает необходимость использования тяжелой машинной техники для транспортировки и укладки кабеля. Применение интегрально-оптических компонентов упрощает построение приемопередающей аппаратуры, линейных регенераторов, повышает их надежность и экономичность.

Анализ оперативно-стратегических факторов, определяющих условия функционирования систем военной связи (СВС) и преимуществ атмосферных

оптических линий связи (АОЛС), выполненный в рамках проводимых НИР, позволяет сформулировать следующие направления их внедрения на сетях связи специального назначения:

сеть доступа перспективного полевого подвижного пункта управления модульного типа оперативно-тактического, оперативного и оперативно-стратегического звеньев управления (СД ПППУ МТ) к узлам доступа (УД) Объединенной автоматизированной цифровой системы связи ВС РФ (ОАЦСС ВС РФ) или Единой сети электросвязи (ЕСЭ РФ);

объектовая сеть (атмосферная оптическая объектовая сеть) перспективного полевого подвижного пункта управления модульного типа оперативно-тактического, оперативного и оперативно-стратегических звеньев управления (ОС ПППУ МТ);

в качестве вставок в ВОСП (например, при преодолении водных преград, ж/д путей, автомагистралей, газо- и трубопроводов ЛЭП, скального грунта, мостов, виадуков, при ведении боевых действий в горных районах и т.п.);

в качестве линий привязки групп каналообразования (ГКО-2 ГКО-3) и линий дистанционного управления группами передатчиков;

обеспечение внутриузловой сети связи полевого узла связи (УС);

организация линий связи между центрами коммутации и базовыми станциями сетей связи с подвижными объектами (ССПО);

подключение УС отдельного гарнизона (удаленной сети доступа) к ЕСЭ РФ;

резервные и оперативно устанавливаемые временные каналы в условиях сложной электромагнитной обстановки или радиоэлектронной борьбы (РЭБ) и радиоэлектронного подавления (РЭП);

оперативная вставка при ремонте транспортной сети связи территориальной системы связи (ТрСС ТСС ВС РФ);

для транспортирования трафика между разнесенными в пространстве локальными вычислительными сетями;

- для организации оптических межспутниковых линий связи;
- для организации связи между ретрансляторами, находящимися на космических аппаратах (КА);
- для организации связи между ретрансляторами на летных подъемных средствах (ЛПС);
- для организации связи между ретрансляторами на КА и ЛПС;
- для организации связи между наземными станциями и ретрансляторами на КА и ЛПС;
- для передачи видеоинформации различного назначения;
- при построении сетей связи общего пользования;
- для организации связи между кораблями флота;
- для организации связи подводных лодок с ЛПС и кораблями;
- другие случаи, когда нужно высокоскоростное и экономичное решение для передачи информации между пространственно разнесенными объектами, в том числе для спецприменений.

В существующих полевых УС для привязки ГКО и организации линий дистанционного управления используются медно-кабельные и радиорелейные линии связи, которые не соответствуют требованиям по пропускной способности и разведзащищенности. Для устранения данных недостатков на полевых УС предполагается использовать высокоскоростные (от 2 Мб/с до 2,5 Гб/с) и помехозащищенные (средняя мощность энергии лазерного пучка не более 100 мВт, а также полное отсутствие боковых лепестков при узкой диаграмме направленности) АОЛС.

В дополнение к вышеперечисленному, возможно использование АОЛС в качестве высокоскоростных защищенных линий для организации внутриузловой сети связи как полевого, так и стационарного УС.

При организации сетей связи между центрами коммутации и базовыми станциями сетей связи с подвижными объектами (ССПО) узким местом являются линии доступа на основе радиоканала. Поэтому рекомендуется их

замена или дублирование с помощью АОЛС для увеличения пропускной способности.

Для подключения УС отдельного гарнизона (удаленной сети доступа) к ЕСЭ РФ также возможно использование перспективных АОЛТ на CO₂-лазере или существующих терминалов с несколькими переприемами при соблюдении сетевых характеристик по фазовому дрожанию и коэффициенту ошибок.

При ремонте транспортной сети связи ТрСС ТСС ВС РФ требуется в короткие сроки восстанавливать работоспособность магистрали. В качестве оперативной вставки как нельзя лучше подходит АОЛС.

Для транспортирования трафика между разнесенными в пространстве локальными вычислительными сетями при отсутствии кабельной инфраструктуры или большой приведенной стоимости прокладки кабеля в качестве альтернативы можно использовать АОЛС, которые не критичны к виду сетевого трафика и поддерживают любую существующую технологию передачи данных и голоса.

Особый интерес представляют оптические линии связи, используемые на различных этапах применения УС (свертывание, перемещение к новому месту, развертывание, установление связей и функционирования). При использовании существующих средств связи решение задачи уменьшения времени функционирования на этих этапах практически неосуществимо. Применение АОСП позволяет значительно улучшить эти показатели, т.е. повысить мобильность УС в целом.

Не менее перспективным направлением применения АОСП является осуществление привязки вынесенных (излучающих) элементов узлов связи, привязки узлов связи пунктов управления (УС ПУ) к сети связи. Это обусловлено высокой монохроматичностью излучения, присущей оптическим сигналам, сверхузкими диаграммами направленности и пренебрежимо малыми боковыми лепестками.

Применение АОСП позволит обеспечить скрытие узла связи от различных видов разведки противника, при этом массогабаритные показатели оптических антенн и систем не будут превышать используемые для этих целей проводные и радиосредства. [4, 2, 3]

3.6. Сеть связи перспективного полевого подвижного пункта управления модульного типа построенная на оборудовании АОЛС.

Одним из наиболее перспективных вариантов использования технологии *FSO* является ее использование в современных узлах связи модульного типа. Полевые подвижные пункты управления модульного типа должны составить основу системы управления военного времени в оперативно-стратегическом, оперативном, оперативно-тактическом и тактическом звеньях управления Сухопутных войск, Военно-воздушных сил, Воздушно-десантных войск, береговых войск флотов (ОКВС) Военно-Морского Флота и могут быть развернуты в неподготовленных районах, расположенных вне мест постоянной дислокации.

Модульное построение ПППУ является одним из основных вариантов развития ПУ и их узлов связи. ПППУ в модульном исполнении представляет собой совокупность определенным образом связанных и организованных модулей (компонентов) полевых подвижных пунктов управления.

Под типовой подвижной единицей (ТПЕ) подразумевают обобщенное название штабных машин (МШ), командно-штабных машин (КШМ), специальных машин и специальных аппаратных (МС, СА) и машин обеспечения и обслуживания личного состава и техники ПУ (МООПУ) нового поколения.

По своему предназначению ТПЕ сведены в унифицированный ряд, который представляет собой набор единиц, позволяющих создать модуль ПППУ для формирования любых пунктов управления.

Унифицированный ряд ТПЕ ПППУ МТ предназначен:

для замены морально и физически устаревших образцов штабных,

специальных машин и оборудования, имеющихся в настоящее время в войсках и предназначенных для формирования полевых подвижных командных (запасных командных) и тыловых пунктов ОСЗУ, ОЗУ, ОТЗУ;

для формирования, на основе входящих в его состав изделий, полного состава полевых подвижных командных (запасных командных) и тыловых пунктов ОСЗУ, ОЗУ, ОТЗУ с учетом их специфики по принадлежности и предназначению, а также особенностей применения и условий эксплуатации.

Унифицированный ряд ТПЕ реализует следующие функции:

управление - обеспечение формирования, передачи, приема и подтверждения (о получении или выполнении) распоряжений, команд и сигналов в соответствии с алгоритмом управления;

информационное обеспечение - обеспечение сбора, обработки и отображения данных обстановки и ведение базы данных о составе, положении, состоянии и характере действий своих войск, войск противника и условиях ведения боевых действий;

подготовка и ведение планирующих, распорядительных документов, представление их на рассмотрение руководству и доведение до подчиненных органов управления;

жизнеобеспечение личного состава ПППУ;

энергоснабжение модулей ПППУ;

обеспечение охраны, обороны и обслуживания модулей ПППУ.

Наибольший интерес, с точки зрения связи, представляет унифицированный ряд ТПЕ, который должен включать:

комплексные аппаратные связи (КАС) для организации связи между элементами внутри пункта управления и доступа к ресурсам полевой, территориальной систем связи и Единой сети электросвязи страны;

аппаратные (станции) связи для развертывания узла связи КП (ЗКП), ТПУ, ОКП авиации и ПВО.

При модульном построении ПУ последовательность работы органов управления по руководству подчиненными войсками (силами) объективно не

может претерпеть изменений. Она предусматривает: сбор и анализ данных обстановки, принятие решения, постановку оперативных (боевых) задач, организацию взаимодействия, оказание помощи подчиненным и контроль за их действиями.

Унификация МПУ заключается в создании такой КАС в составе каждого модуля, которая должна выполнять как функции модуля доступа к ОАЦСС ВС РФ или ЕСЭ РФ при обеспечении передачи транзитной нагрузки другим МПУ, так и передачу внутреннего трафика в ОС. Выполнение этих условий приведет к увеличению приведенной стоимости объекта, но значительно повысит его боевую готовность, мобильность, устойчивость, разведзащищенность и пропускную способность.

Опираясь на новый принцип построения ПППУ, можно представить приблизительную схему построения УС с использованием технологии FSO.

На комплексных аппаратных связи узловых и оконечных устанавливается оборудование АОЛС. Оконечные аппаратные получают возможность обмениваться информацией и данными не только с узловой станцией, но и между собой. Благодаря высокой скорости на прием и передачу у технологии FSO обмен узловой станции может вестись со всеми оконечными одновременно, без задержки и искажений. Учитывая высокую скорость развертывания и настройки каналов связи технологии FSO в сравнении с радиорелейной связью или проводной, мы существенно повышаем боевую готовность системы связи и управления полевого узла связи.

Под модулем понимают элемент ПППУ, представляющий собой совокупность типовых подвижных единиц (ТПЕ) из унифицированного ряда, позволяющих выполнять функции управления войсками (силами), обеспечивать связь и обработку всех видов информации непосредственно на рабочих местах, занятых оперативным составом одной или нескольких рабочих групп органа управления.

Используя уже существующее оборудование российских

производителей, мы можем построить сеть связи, которая по своим характеристикам будет превосходить все существующие зарубежные аналоги. Если уже сейчас мы начнем развивать эту технологию, мы совершим огромный скачок в развитии военной системы связи, превосходящей существующие системы по надежности, мобильности, устойчивости и разведзащищенности.

Однако при формировании ПППУ МТ с использованием АОЛС возникает ряд проблем:

недостаток нормативных документов на АОСП, удовлетворяющих современным требованиям по МСЭ-Т;

отсутствие необходимой информации о всех тактико-технических характеристиках аппаратуры, включая ширину диаграммы направленности, коэффициент готовности атмосферных оптических линейных терминалов (АОЛТ) и АОЛС и т.д.;

отсутствие статистических данных по километрическому затуханию инфракрасного (ИК) излучения в атмосферном оптическом канале распределении метеорологической дальности видимости (МДВ) для различных географических районов РФ;

необходимым условием распространения оптической волны является прямая видимость между приемо-передающей парой АОЛТ;

не изучены возможности установки АОЛТ в полевых условиях;

недостаточно исследованы методики создания ОС с использованием АОЛС;

наличие у вероятного противника средств оптико-электронной разведки (ОЭР) и оптико-электронного подавления (ОЭП).

Рассредоточение элементов УС, размещенных в районе ГБУ, осуществляется исходя из боевых возможностей боевых частей, средств ВТО противника. Наиболее вероятно применение по ним боевых элементов ВТО, так как схема рассеяния суббоеприпасов представляет собой окружность

диаметром 240 или 360 метров (для ударов по войскам в районах размещения) и эллипс 900x150м для ударов по колоннам.

Таким образом, для предотвращения поражения одной кассетой более чем одного элемента УС, целесообразный разнос между элементами УС должен составлять 250-300 метров. В настоящее время разнос элементов УС ПУ на такие расстояния осуществить не предоставляется возможным из-за недостаточного количества штатного внутриузлового вводно-соединительного кабеля, к тому же для развертывания УС в этом случае потребуется затрата значительных сил и времени. Поэтому в настоящее время принято размещать элементы УС на удалении 150-200 метров друг от друга.

Аппаратные в элементах УС размещаются группами по 3-4 аппаратных в группе. Расстояние между группами аппаратных 50-100 метров, а между аппаратными в группах 15-30 метров. Эти расстояния выбраны из расчета развертывания между аппаратными не более одной строительной длины вводно-соединительного кабеля (50, 100 м.)

На основе вышеперечисленных требований к военной системе связи были выявлены следующие необходимые критерии для построения военной цифровой оптической сети связи.

Во-первых, информационная и техническая безопасность. Данное требование выражается в том, что применяемое оборудование должно быть отечественного производства, иметь полный комплект эксплуатационной и конструкторской документации в соответствии с ГОСТ. Программное обеспечение должно иметь полностью открытый код и быть сертифицировано уполномоченными органами.

Во-вторых, унификация цифрового оборудования и систем управления. В идеальном случае весь спектр цифрового телекоммуникационного оборудования для различных сетей связи должен производиться одним разработчиком и иметь единую распределенную систему управления. Это позволит повысить эффективность технического обслуживания и оперативного управления связью, уменьшить расходы на обучение личного

состава, закупку ЗИП и т.п. Однако на практике, каждый вид войск Вооруженных Сил имеет свои заказывающие и экспертные учреждения, свою сложившуюся кооперацию разработчиков. В данной ситуации выход состоит в том, чтобы новая техника создавалась на принципах "открытых систем", с применением стандартных алгоритмов и протоколов, обеспечивающих возможность совместной работы и единых принципов управления.

В-третьих, разработчик должен иметь персонал с допусками на режимные объекты для осуществления гарантийного и послегарантийного обслуживания поставляемого оборудования.

И, наконец, в-четвертых, конструктивные и эксплуатационные характеристики оборудования должны соответствовать уровню защищенности объектов, на которых оно применяется.

Вывод: В главе рассмотрены предложения по использованию оборудования АОЛС на сетях связи специального назначения. Представлено предложение по использованию как на стационарных объектах, так и на полевых узлах связи модульного типа.

Заключение

1. В процессе выполнения ВКР проанализированы принципы построения оборудования АОЛС, выявлены основные факторы, влияющие на функционирование оборудования АОЛС. Приведены особенности работы АОЛС и установлено, что основной отличительной чертой АОЛС являются: зависимость прохождения оптического излучения от состояния атмосферы. В данном случае основное негативное влияние на работоспособность лазерных линий могут оказывать такие факторы, как флуктуации из-за неоднородностей плотности воздуха и ослабление мощности излучения при рассеянии на частицах аэрозолей (например, в тумане). Также приведено физическое прояснение процессов, влияющих на работоспособность АОЛС и методы снижения негативного влияния этих последствий.

2. Рассмотрены ТТД образцов оборудования АОЛС отечественного и зарубежного производителя.

3. Проведен расчет дальности оборудования АОЛС. Приведенная методика определения дистанции атмосферного канала носит универсальный характер и может быть использована для любых географических регионов нашей страны. В результате можно сделать вывод, что при построении линий связи, применяя оборудование АОЛС, длину линии необходимо выбирать исходя из результатов расчета, а не из ТТД образцов аппаратуры. Производители оборудования АОЛС склонны к завышению такого параметра как дальность связи.

4. Рассмотрены принципы использования оборудования АОЛС на сетях связи специального назначения. Приведена структура сети, на основе АОЛС для связи сегментов локальной вычислительной сети. Сформулированы требования, которым должна отвечать спроектированная сеть АОЛС.

Список используемой литературы

1. Рекомендация МСЭ-R P.1814. Методы прогнозирования, требуемые для разработки наземных оптических линий для связи в свободном пространстве, 2007 г.
2. Рекомендация МСЭ-T G.703. Физические и электрические характеристики иерархических цифровых интерфейсов
3. Рекомендация МСЭ-R P.1817. Данные о распространении радиоволн, требуемые для разработки наземных оптических линий для связи в свободном пространстве, 2007.
4. Аппаратура атмосферной оптической линии передачи данных ARTOLINK модель M1-GE, M1-FE-L. Руководство по эксплуатации.
5. Медвед Д.Б. Влияние погодных условий на беспроводную оптическую связь. Вестник связи, 2015, № 4, с. 154-157.
6. Р.А. Казарян, А.В. Оганесян и др. Оптические системы передачи информации по атмосферному каналу. Под. ред. Р.А. Казаряна. - Радио и связь, 1999 г.–208 с., ил.
7. Основы организации связи в Сухопутных войсках. Часть 3. Основы организация связи в частях и подразделениях общевойсковых соединений. Учебник.- СПб.: ВУС, 2003. – 312с. ДСП.
8. Учебное пособие «Основы организации связи в подразделениях общевойсковых соединений». СПб. : ВАС, 2014 г., ДСП.
9. <http://www.mostkom.ru/> Российский поставщик оборудования беспроводной оптической связи на основе *Free Space Optics (FSO)* технологии
10. <http://www.pavdata.ru/> Российский поставщик оборудования беспроводной оптической связи PAVLight.
11. http://www.optica.ru/?page=optica_21LAN2.htm основные тактико-технические характеристики и назначение оборудования *ARTOLINK*.

12. <http://lantastica.ru/> Российский поставщик оборудования беспроводной оптической связи ЛАНтастИКа.