

УДК 621.384.3

© Щербань И.В., Кривошеев Г.В., Григорян М.А.
Scherban I., Krivosheev G., Grigoryan M.

МЕТОДИКА МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ОТКРЫТЫХ АТМОСФЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ

METHODS OF MODERNIZATION TELECOMMUNICATION NETS BASED ON USE OF OPEN FREE SPACE OPTICS

Аннотация. Задача модернизации телекоммуникационной сети рассматривается как задача внедрения новых каналов передачи или замены существующих каналов, не удовлетворяющих современным требованиям. Решение предлагается на основе использования открытых атмосферных оптических систем передачи (АОСП). С целью снижения зависимости качества связи на основе АОСП от состояния атмосферы предлагается использовать разработанный модуль усиления-ретрансляции.

Annotation. Task of modernization telecommunication net is observed as a task of instillation new transmission or replacement ex-istent channels, which are not satisfy contemporary requirements. Decision is offer on base of use open free space optics (FSO). In order reduce dependence of telecommunication's quality based on FSO upon atmosphere's condition it is offer to use development modulus of intensification-retranslation.

Ключевые слова. Атмосферные оптические системы передачи, коэффициент готовности линии, оптический усилитель, метеорологическая дальность видимости.

Key words. Free space optics, coefficient of line's readiness, the optical amplifier, meteorological range of visibility.

Введение

Темпы и качество совершенствования современной системы военной связи определяются состоянием и возможностями ее первичной сети связи (ПСС). Как правило, существующие линии связи (кабельные, радиорелейные) ПСС военных округов введены в эксплуатацию в начале 60-х годов прошлого века. В основном они выработали свой ресурс и не удовлетворяют критерию единства системы связи видов и родов Вооруженных сил Российской Федерации (ВС РФ), силовых структур и ведомств. Это приводит к появлению проблем сопряжения

канального оборудования систем связи ВС РФ в целом, большим экономическим затратам при их эксплуатации, нерациональному использованию их канальных ресурсов. Следовательно, на сегодняшний момент актуальной является задача совершенствования ПСС военных округов посредством замены отдельных линий передачи, не соответствующих требованиям, формируемым из условий расширения спектра предоставляемых современными системами связи инфокоммуникационных услуг.

Однако подобные задачи характерны и для подавляющего большинства иных практических случаев. На-

Щербань Игорь Васильевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры многоканальных телекоммуникационных систем Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, тел. (+7-863)-243-48-11; Кривошеев Григорий Викторович – адъюнкт кафедры многоканальной электросвязи филиала Военной академии связи; Григорян Микаел Аветисович – аспирант кафедры многоканальных телекоммуникационных систем Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики.

Scherban Igor – doctor technical science, reader, chair's multiple facility telecommunications professor of North-Caucasian branch Moscow technical university of telecommunications and information, tel. (+7-863)-243-48-11;

Krivosheev Grigoriy – a branch of the military telecommunications engineer's academy (t. Novocherkassk), chair's multiple facility telecommunications post-graduate student;

Grigoryan Mikael – North-Caucasian branch Moscow technical university of telecommunications and information, chair's multiple facility telecommunications post-graduate student.

пример, внедрение и практическое освоение перспективных информационных и телекоммуникационных технологий в составе единой сети электросвязи (ЕСЭ), в составе корпоративных сетей, локальных, ведомственных и т.п. сетей связи требует повсеместной замены отдельных линий передач. На современном этапе необходимо использовать линии, имеющие высокую пропускную способность, требуемую устойчивость и защищенность от несанкционированного доступа, разворачиваемые в короткие сроки и с минимальными финансовыми затратами. Поэтому представляет практический интерес нижеизложенный опыт модернизации ПСС, позволяющий проводить наращивание сетей связи в короткие сроки и с минимальными финансовыми затратами.

Обоснование использования АОСП с целью модернизации телекоммуникационных сетей

Волоконно-оптические системы передачи (ВОСП) находят широкое применение в практике построения современных инфокоммуникационных систем. Однако известные трудности, возникающие в процессе развертывания новых волоконнооптических кабельных линий при модернизации сетей связи, существенно увеличивают временные сроки и стоимость таких работ особенно в городских условиях [1]. В местах с развитой инфраструктурой, большой плотностью застройки в качестве альтернативных ВОСП аппаратных решений используются беспроводные радиорелейные линии связи (РРЛС) или открытые атмосферные оптические системы передачи (АОСП).

Для РРЛС большую проблему на сегодняшний день представляют вопросы, связанные с электромагнитной совместимостью радиоэлектронных средств, защитой от преднамеренных помех. АОСП же, в отличие от РРЛС, используют нелицензируемый терагерцовый диапазон частот, обладают высокой помехоустойчивостью к другим видам связи и к радиоизлучениям от специальных объектов, имеют сравнимую с ВОСП скорость передачи цифровых потоков, высокую защищенность от несанкционированного доступа и низкую стоимость и поэтому кажутся более предпочтительными. Однако существенной особенностью АОСП, в свою очередь ограничивающей их широкое использование, является зависимость качества связи от состояния атмосферы.

Негативное влияние на атмосферные каналы (АК) АОСП, проявляющееся в снижении протяженности канала (или в снижении коэффициента готовности линии), оказывают такие факторы, как флуктуации из-за неоднородностей плотности воздуха и рассеяние на частицах аэрозолей (например, в тумане) [2]. Техническая за-

висимость от свойств среды распространения допустимой протяженности АК, определяемой для каждого географического региона из требования обеспечения заданного коэффициента готовности, не позволяет наращивать или строить новые инфокоммуникационные системы на основе АОСП. Операторов связи не удовлетворяют условия выбора – либо построение линий со сравнительно невысокой протяженностью (1-1,5 км), но с заданным коэффициентом готовности, либо, наоборот, использование достаточно протяженных линий связи, но имеющих низкий коэффициент готовности [2].

Обеспечить требуемый коэффициент готовности линии передачи при одновременном увеличении дальности АК возможно за счет усиления и ретрансляции затухающих оптических сигналов по трассе распространения. Подобное усиление сигнала принципиально можно осуществить за счет дополнительного использования по трассе АК существующих однотипных приемопередающих модулей (ППМ) АОСП (например, ППМ серии ARTOLINK производства государственного Рязанского приборного завода [3]). Однако недостатком такого решения является значительное снижение скорости передачи цифровых потоков вследствие двойного оптоэлектронного преобразования оптического излучения в электрический сигнал и обратно в ППМ.

Следовательно, для реализации наиболее удобного в современных условиях технического решения по наращиванию инфокоммуникационных систем на основе атмосферных оптических систем передачи необходимы модули, обеспечивающие усиление оптического сигнала и его последующую ретрансляцию без оптоэлектронных преобразований. Использование подобных модулей по трассе АК позволит снизить зависимость качества связи от состояния атмосферы и, таким образом, обеспечить требуемый коэффициент готовности канала при одновременном увеличении его протяженности и сохранении существующей скорости передачи цифровых потоков.

Модуль усиления и ретрансляции для АОСП

Предлагается один из возможных способов построения подобного модуля усиления и ретрансляции оптических сигналов, схемотехническое решение которого отличается тем, что основано на использовании широко применяемых в ВОСП компонентов. В этом случае существенно снижаются финансовые расходы, связанные с разработкой, производством и внедрением новых устройств. За счет типизации схемы и реализованного принципа агрегативности [4], разработанный модуль усиления и ретрансляции оптических сигналов для атмосферных оптиче-

ских систем передачи имеет низкую стоимость.

Рассматриваемый модуль усиления-ретрансляции для АОСП может быть построен на основе существующих усилителей оптического излучения, используемых в ВОСП.

Известны пять типов оптических усилителей (ОУ) ВОСП, обеспечивающих усиление оптического сигнала без оптоэлектронных преобразований [5]. Они реализуют принцип индуцированного излучения, не способны производить регенерацию оптического сигнала и в равной степени усиливают как входной сигнал, так и шум.

Так называемые ОУ на волокне с бриллюэновским рассеянием обладают узким усиливаемым спектром, а усилители на волокне, имеющие рамановское рассеяние [5], обладают широким спектром усиления, но низким КПД и высокой стоимостью. ОУ Фабри-Перо [5] имеют высокий коэффициент усиления в очень узком, но широко перестраиваемом спектральном диапазоне, но им присущ и существенный недостаток – высокий уровень собственного шума.

Недостатком полупроводниковых лазерных ОУ [5] является низкий КПД. Увеличить КПД можно, поставив между входящим волокном и активной средой линзу, но это приводит к усложнению конструкции и увеличению ее стоимости.

Поэтому функцию усиления оптического сигнала в рассматриваемом модуле беспроводной атмосферной связи предлагается выполнять посредством использования усилителя на примесном волокне. Активной средой усилителя является одномодовое волокно, сердцевина которого легируется примесями редкоземельных элементов. Такие ОУ усиливают световые сигналы без опто-

электронных преобразований в широком спектральном диапазоне, причем, с достаточно высоким коэффициентом усиления и низким уровнем шума, вследствие чего и являются ключевыми элементами в технологиях полностью оптических сетей. Технические характеристики подобных усилителей во многом зависят от типа примесей и от диапазона длин волн усиливаемого оптического сигнала. Например, ОУ EDFA, в котором используется кремниевое волокно, легированное эрбием, усиливает оптические сигналы с длинами волн от 1530 до 1560 нм.

Известно, что большинство современных АОСП работают в двух "окнах прозрачности" с длинами волн 780-850 нм и 1520-1600 нм, но более продуктивным для использования в атмосферных сетях связи считается второе "окно". Таким образом, закономерным является вывод о целесообразности построения рассматриваемого модуля усиления-ретрансляции на основе ОУ EDFA.

Также необходимо отметить, что данные усилители обладают низкой чувствительностью к изменению поляризации сигнала, низким уровнем шума и практически полным отсутствием переходных помех на выходе.

Структурная схема предлагаемого модуля представлена на рис. 1.

Модуль состоит из двух идентичных приемопередающих блоков, содержащих приемную антенну (ПрмА), ОУ, передающую антенну (ПрдА) и блоки согласования приемного и передающего трактов (БСпрм, БСпрд), соединенных с помощью одномодового оптоволокну.

Двухапертурная приемная оптическая антенна предназначена для приема слабого оптического сигнала на два разнесенных в пространстве приемных объектива, обеспечивающих прием из разных участков волново-

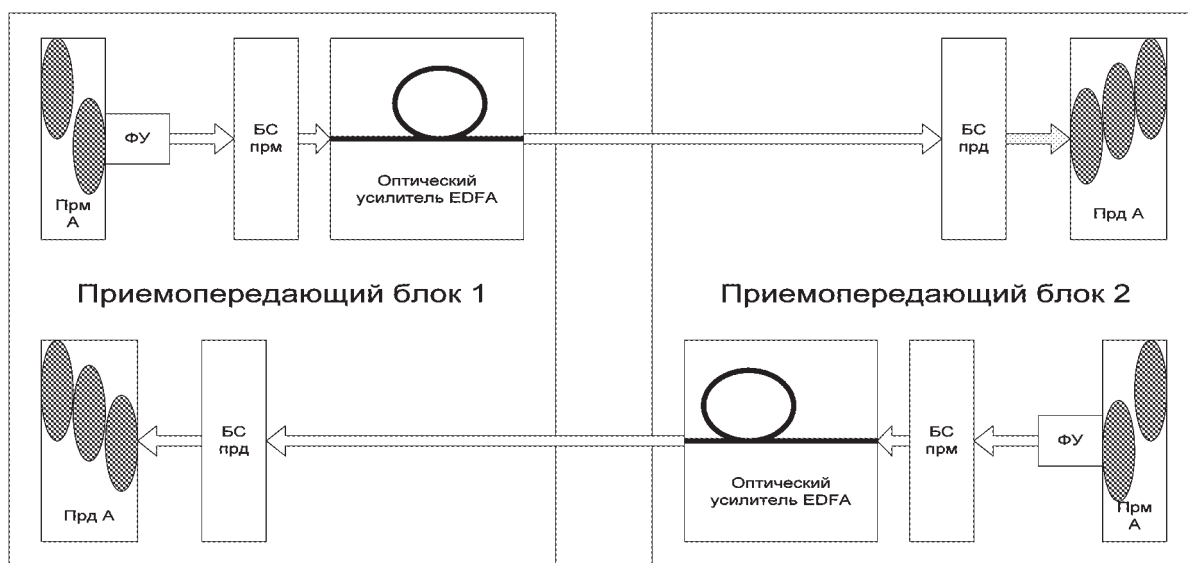


Рис.1. Схема модуля усиления и ретрансляции оптических сигналов

го фронта на одно фотоприемное устройство (ФУ). Такое построение приемной антенны позволяет снизить амплитудную нестабильность принимаемого сигнала из-за воздействия атмосферы не менее чем на 5дБ по сравнению с приемом на один объектив такой же эквивалентной площади.

Блоки согласования предназначены для согласования принятого сигнала с входом усилителя или усиленного сигнала с входом антенны. Введение в схему структурно выделенных блоков согласования обусловлено требованиями агрегативности, так как в этом случае обеспечивается унификация и стандартизация приемопередающих модулей предлагаемого устройства.

Оптический усилитель обеспечивает усиление принятого сигнала до уровня, необходимого для последующей передачи в АК АОСП. Эрбиевый оптический усилитель EDFA работоспособен при длине волны оптических сигналов от 1530 до 1560 нм, что соответствует рабочей длине волны АОСП, построенных на устройствах ARTOLINK M2EE1 с длиной волны лазера накачки 980 нм [3]. К достоинствам EDFA также относятся низкая чувствительность к изменению поляризации сигнала, низкий уровень шума и практически полное отсутствие переходных помех на выходе усилителя.

Трехапертурная передающая антенна обеспечивает передачу усиленного оптического сигнала в АК АОСП. Наличие в передающем тракте трех передающих апертур увеличивает выходную мощность и уменьшает влияние интерференционной нестабильности волнового фронта когерентного излучения из-за неоднородностей в атмосфере.

Принцип работы модуля ретрансляции оптических сигналов состоит в том, что принятый двухапертурной приемной оптической антенной (ПрМА) слабый оптический сигнал через блок согласования тракта приема (БСпрм) посредством оптического волокна вводится в ОУ, где происходит его усиление до уровня, необходимого для последующей передачи. Усиленный таким образом оптический сигнал оптоволоконно вводится в блок согласования тракта передачи второго приемопередающего модуля (БСпрд) и посредством трехапертурной передающей антенны (ПрДА) транслируется в АК АОСП.

Предполагается, что приемопередающие блоки модуля ретрансляции оптического сигнала размещаются в разных корпусах и имеют независимое друг от друга крепежно-монтажное оборудование. Это позволяет при проектировании АК обходить препятствия по пути оптического луча, что существенно снижает требования к выбору места установки АОСП особенно в город-

ских условиях.

С целью достижения требуемой протяженности АК с заданным коэффициентом его готовности необходимо рассчитать места для расположения предлагаемых модулей. Для этого придется учитывать не только технические характеристики рассмотренного модуля, но также вопросы согласования интегральной функции распределения километрического затухания (ИФР-КЗ) инфракрасного излучения в атмосфере данного географического региона с энергетическими ресурсами аппаратуры АОСП в целом.

Энергетические характеристики аппаратуры являются паспортными данными изделия. Для определения ИФР-КЗ региона требуется усреднение экспериментальных данных по метеорологической дальности видимости (МДВ) в течение 3–5 лет. Согласно работе [6] условие доступности АОСП имеет вид

$$P_{\text{общ}} \leq A, \quad (1)$$

где A – энергетический ресурс аппаратуры, определяющийся, как разность между мощностью передатчика (либо сумой мощностей передатчиков, если передающий тракт состоит из нескольких передатчиков) и чувствительностью приемника;

$P_{\text{общ}}$ – потери на трассе длиной L , составляющие сумму потерь, обусловленных рассеиванием и поглощением света (P_1) и потерь за счет расходимости (P_2), которые определяются соотношениями

$$P_1 = \alpha L; \quad (2)$$

$$P_2 = 20 \lg \left(\frac{L \varphi_{\text{РАСХ}}}{d_{\text{ПРМ}}} \right), \quad (3)$$

где α – величина километрического затухания оптического сигнала в атмосфере;

$\varphi_{\text{РАСХ}}$ – угол расходимости лазерного излучения;

$d_{\text{ПРМ}}$ – диаметр линзы приемного устройства.

Окончательно условие доступности АОСП примет вид

$$\alpha L + 20 \lg \left(\frac{L \varphi_{\text{РАСХ}}}{d_{\text{ПРМ}}} \right) \leq P_{\text{ВЫХ}} - P_{\text{ПРМ}}. \quad (4)$$

Расчет величины километрического затухания α , зависящей от климатических условий региона и рабочей длины волны АОСП λ_p , осуществляется, исходя из требования обеспечения заданного коэффициента готовности АК. Однако α также содержит и вероятностную составляющую. Вероятность того, что α не превысит некоторого порогового значения, при котором соотношение (4) не выполнится, можно определить, используя ИФР-КЗ. Так как метеорологические данные в аэропортах и на метеостанциях ведутся на длине волны $\lambda_{\text{наблюд}} = 0,55$ мкм, то при этом придется пересчитывать

статистику МДВ в ИФР-КЗ для рабочей длины волны λ_p , АОСП следующим образом:

$$\alpha = \frac{C}{S_{МДВ}} \cdot \left[\frac{\lambda_p}{\lambda_{наодлюд}} \right]^{-q(S_{МДВ})} \quad (5)$$

где C – постоянный коэффициент, равный 13 дБ;

$q(S_{МДВ})$ – функция МДВ, значение которой определяется в работе [2].

Приведенная методика расчета протяженности АК может быть использована для определения мест для расположения предлагаемых модулей усиления-ретрансляции.

Пример расчета атмосферной линии с разработанным модулем

Рассмотрим пример расчета протяженности АК, состоящего из двух усилительных участков (рис. 2).

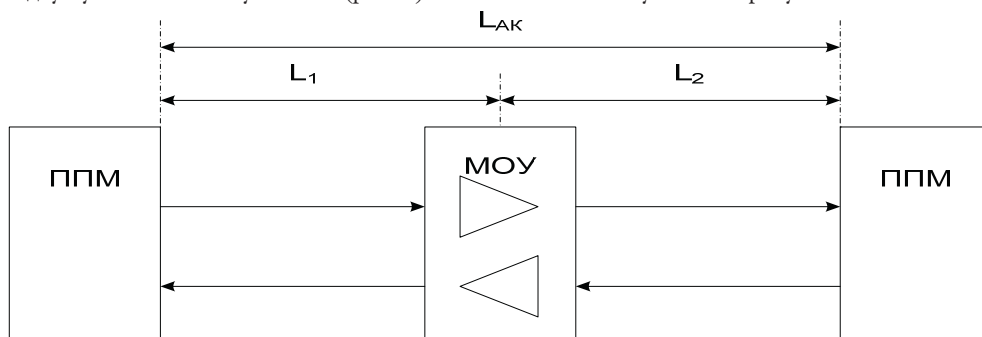


Рис.2. Схема АК АОСП с разработанным модулем усиления-ретрансляции (МОУ)

В этом случае условие (4) трансформируется в следующие неравенства:

$$\alpha L_1 + 20 \lg \left(\frac{L_1 \varphi_{РАСХ}}{d_{ПРМ}} \right) \leq P_{ВЫХ} - P_{ВХ.СИГН}; \quad (6)$$

$$\alpha L_2 + 20 \lg \left(\frac{L_2 \varphi_{РАСХ}}{d_{ПРМ}} \right) \leq P_{ВЫХ.УС.} - P_{ПРМ}, \quad (7)$$

где L_1 и L_2 – протяженности первого и второго участков АК соответственно;

$P_{ПРМ}$ – пороговая чувствительность;

$P_{ВХ.СИГН}$ – уровень входного сигнала модуля усиления-ретрансляции, соответствующий известному для ОУ, использованного в модуле, уровню входного сигнала;

$P_{ВЫХ.УС.}$ – выходная мощность модуля, определяемая по уровню выходного сигнала ОУ, использованного в модуле, откуда и находятся протяженности участков АК.

Например, были проведены численные расчеты для следующего случая:

- выбрана АОСП на основе ППМ Artolink модели M2 [3], имеющих следующие технические характеристики: оптическая выходная мощность равна 25 дБм, $P_{ПРМ} = -40$ дБм, $\varphi_{РАСХ} = 0,3$ мрад, $\lambda_p = 1550$ нм, $d_{ПРМ} = 0,088$ м;

- предполагалось, что в модуле усиления-ретрансляции используется ОУ EDFA, EA 63600 с двумя каскадами усиления, имеющий $P_{ВЫХ.УС.} = 17$ дБм и $P_{ВХ.СИГН} = -32$ дБм, а параметры оптической части модуля аналогичны параметрам ППМ Artolink модели M2;

- использовалась статистика МДВ по г. Новосибирску, охватывающая период измерений за 10 лет [6].

Для коэффициента готовности линии передачи 0,998 величина километрического затухания оптического сигнала в атмосфере составила $\alpha = 56,88$ дБ/км. На основании этих данных найдены расчетные значения протяженностей участков L_1, L_2 и общая протяженность АК $L_{АК}$, а также для тех же исходных данных выполнено сравнение со случаем, когда в АОСП не используется предлагаемый модуль усиления-ретрансляции (см. таблицу).

Полученные результаты позволяют сделать вы-

вод, что использование подобных модулей по трассе АК АОСП позволит снизить зависимость качества связи от состояния атмосферы и, таким образом, обеспечить требуемый коэффициент готовности канала при одновременном увеличении его протяженности и сохранении

Расчетные значения протяженностей участков

Протяженности участков (м)			
АОСП с использованием модуля усиления-ретрансляции (рис. 2)			АОСП без использования модуля
L_1	L_2	$L_{АК}$	$L_{АК}$
840	840	1680	960

существующей скорости передачи цифровых потоков.

В то же время следует отметить, что накопление шума ограничит возможное количество модулей в АК и, соответственно, потенциально возможную его протяженность. Шумы каждого каскада усиливаются в ОУ последующих каскадов, где снова добавляются шумы спонтанного излучения. На основе выводов, представленных в работе [5], можно получить соотношение для величины

"сигнал/шум" при длине волны излучения 1550нм:

$$\frac{C}{\Pi} = 58 + P_c - g - \eta f - 10 \lg N, \quad (8)$$

где P_c – мощность сигнала на выходе модуля усиления-ретрансляции;

g – коэффициент усиления ОУ модуля;

N – количество модулей усиления-ретрансляции, которое позволит определять возможное количество модулей по трассе АК данного географического региона.

Использование рассмотренных технических решений целесообразно в местах с развитой инфраструктурой и большой плотностью застройки.

Литература

1. Гринфилд Д. *Оптические сети*. -К.: ООО «ТИД «ДС», 2002.-272 с.
2. Павлов Н.М. Коэффициент готовности атмосферного канала АОЛП и методы его определения // *Фо-тон-Экспресс-Наука*. -2006. №6.-С. 78-90.
3. <http://www.grpz.ru>.
4. *Рекомендации по применению беспроводной инфракрасной технологии на местных сетях взаимодействующей сети связи России*. Р 45.16-2002.
5. Убайдуллаев Р.Р. *Волоконно-оптические сети*. -М.: Эко-трендз, 1998.-268с.
6. Полянский С.В., Игнатов А.Н. Определение дистанции атмосферного канала связи с заданным коэффициентом готовности для г. Новосибирска// *Вестник СибГУТИ*, 2009. -№4. С. 73-82.

Материал поступил в редакцию 22. 02. 2011 г.