

# Механизмы обеспечения качества и надежности атмосферных оптических линий связи



**Евгений МИЛЮТИН,**  
д. т. н., профессор СПбГУТ  
им. М. А. Бонч-Бруевича

К настоящему времени атмосферные оптические линии связи (АОЛС) прошли почти полувековой путь развития. Неоспоримые достоинства АОЛС – большая информационная емкость, отсутствие взаимных помех и пр. породили гипертрофированные надежды, что с их помощью удастся решить многие задачи связи. Однако несовершенство тогдашней лазерной техники и сильная зависимость от состояния атмосферного канала (АК) привели к известному скептицизму в оценке возможностей наземных АОЛС, что подтверждалось и опытом эксплуатации системы «Кратер», разработанной в конце 1960-х годов ЦНИИС Министерства связи СССР.

**О**чередной всплеск интереса к АОЛС наблюдался в конце прошлого столетия, когда интенсивное развитие получили сотовые сети. Это внимание было поддержано достижениями в создании мощных полупроводниковых лазеров, световодов, оптических усилителей, а также тем, что аппаратура АОЛС стала работать в инфракрасном диапазоне, который по ряду причин предпочтительнее, чем видимый диапазон, используемый в первых АОЛС.

Сейчас АОЛС, благодаря своим свойствам, занимают определенное место среди инфокоммуникационных систем. Кратко отличительные черты АОЛС можно сформулировать следующим образом: передача больших объемов информации на небольшие расстояния (до нескольких километров). Исходя из этого, АОЛС широко используются в основ-

ном в корпоративных и сотовых сетях связи. Рынок оборудования АОЛС (называемое на Западе технологией FSO – Free Space Optics) демонстрирует уверенный рост, и, казалось бы, все затруднения для повсеместного внедрения АОЛС преодолены.

Однако непрерывно повышающиеся требования к качеству передаваемой информации заставляют обратить внимание на некоторые специфические проблемы АОЛС, обусловленные как аппаратурой, так и, самое главное, особенностями АК, которые по их влиянию на оптический сигнал можно разделить на две группы [1].

Первую образуют процессы, вызывающие энергетическое ослабление сигнала, в частности, поглощение газами и парами составляющих атмосферы, поглощение и рассеяние аэрозолями и осадками. Сюда же можно отнести и световые фоны, ухудшающие отно-

шение сигнал/помеха на входе приемного устройства АОЛС.

Вторая группа – процессы, связанные с неоднородностями показателя преломления (турбулентностью) воздуха и создающие флуктуации амплитуды и фазы оптической волны.

Наиболее неблагоприятными для АОЛС являются процессы первой группы, которые могут привести к перерывам в работе линии. Среди них особо выделяются снегопады и туманы. Последние вызывают ослабление до 100 дБ/км и более. Все другие метеоявления также приводят к снижению уровня принимаемого сигнала и, следовательно, к увеличению количества ошибок.

Для повышения надежности работы АОЛС применяют несколько способов:

- повышение мощности передатчика и чувствительности приемника;



- сужение диаграммы направленности передающих антенн;
- переход в другой диапазон волн и др.

В качестве излучателей обычно используют светодиоды или полупроводниковые лазеры. В пользу первых говорит то, что широкая диаграмма их направленности позволяет применять простую и дешевую оптику в АОЛС, однако геометрические потери, обусловленные расходимостью излучения на трассе и определяемые той частью излучения, которая не попадает в приемную антенну, гораздо выше, чем для полупроводникового лазера, причем геометрические потери в последнем случае можно уменьшить за счет использования эллиптической формы сечения лазерного пучка. Этот выигрыш объясняется тем, что амплитуда колебаний объектов, на которых размещаются приемопередающие устройства АОЛС, в горизонтальной плоскости в несколько раз меньше, чем в вертикальной. Направляя большую ось эллипса лазерного пятна вертикально, в горизонтальной плоскости мы получаем такую ширину диаграммы направленности, которая перекрывает горизонтальные колебания объекта, следовательно, геометрические потери уменьшаются примерно в два раза. Поэтому на коротких трассах (сотни метров) рекомендуется использовать АОЛС со светодиодами, а на более длинных с полупроводниковыми лазерами. Для максимального устранения геометрических потерь в последних разработках АОЛС применяется автоматическая установка угла излучения в зависимости от длины трассы.

Приемниками АОЛС служат, как правило, кремниевые PIN или лавинные фотодиоды (ЛФД). Наиболее чувствительные, но и самые дорогие – ЛФД с поддержкой технологии Super Avalanche, внедренные в АОЛС ООО «Оптические телесистемы».

Как уже отмечалось, одно из преимуществ АОЛС – формиро-

вание узкого пучка (диаграммы направленности), что повышает коэффициент передачи АК за счет снижения геометрических потерь. Однако узкий пучок вызывает и дополнительные проблемы, в первую очередь из-за турбулентности АК. Неоднородности, размеры которых сравнимы или превосходят диаметр пучка, приводят к случайным блужданиям пучка, определяющим флуктуации мощности сигнала и влияющим на энергетику АОЛС. Неоднородности, меньшие диаметра пучка, создают замирания сигнала, т. е. быстрые, хаотичные изменения его уровня.

Для борьбы с блужданиями применяют систему автоматической коррекции положения луча (автотрекинг), для работы которой часть принимаемого излучения непосредственно перед фотоприемником направляется на датчик координат, определяющий отклонение оси приемной системы от линии, соединяющей оба приемопередатчика АОЛС. Автотрекинг заметно удорожает АОЛС, поэтому, например, в АОЛС Artolink, выпускаемой Государственным Рязанским приборным заводом (ГРПЗ), где угол расходимости составляет 0,55 мрад, такая система установлена, а в АОЛС PAVlight (производитель английская компания PAV Data System) с углом расходимости в два раза большим, автотрекинг не применяется [2]. Автотрекинг позволяет также не учитывать колебания объектов, на которых установлена аппаратура АОЛС. Эксперименты показали, что угловые смещения зданий достигают до 6 минут, поэтому в системах без автотрекинга с учетом механических колебаний основной минимальный угол расходимости излучения обычно не менее 3 мрад.

С узкой диаграммой направленности связаны ошибки положения, вызванные рассогласованием оптических осей передатчика и приемника вследствие изменений температуры окружающей среды. Для нейтрализации этого явления приемопередающее устройство выполняется в виде моноблока, обеспечивающего выравнивание температуры вдоль устройства и отвод тепла от внутренних оптических элементов. Моноблок, в свою очередь, помещается в кожух, защищающий от ветра и солнечной радиации. Оледенение и загрязнение оптики и всего устройства предотвращаются введением специальных экранов, использующих аэродинамические эффекты, и системы обогревателей.

Повышение надежности работы АОЛС путем изменения ширины диаграммы направленности передатчика реализовано в новейшей АОЛС «Лантастика» (ООО «Оптические телесистемы»). В данной АОЛС имеются



**АНГСТРЕМ  
ТЕЛЕКОМ**  
ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

**ЭФФЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ**  
проблемы "последней мили"  
для отечественных сетей электросвязи



- Уплотнение 2, 4, 6, 8 и 12 телефонных каналов (2B1Q, TC-PAM)
- Интеграция передачи данных и телефонных каналов
- Цифровое уплотнение каналов ТЧ
- Передача потоков E1 (TC-PAM)

Поставки со склада производителя в Москве  
Любые объемы заказа и сжатые сроки исполнения  
Прямая техническая поддержка и оперативный сервис  
Разработка и выпуск DSL-оборудования под заказ

124460, Москва, Зеленоград, Южная промзона, ЗАО «Ангстрем-Телеком»  
тел./факс: (095) 531-14-16, 532-82-61, 531-37-64  
E-mail: [akt@angtel.ru](mailto:akt@angtel.ru) <http://www.angtel.ru>



два полупроводниковых лазера с длиной волны 0,78 мкм и различными диаграммами направленности оптических антенн широкой и узкой. Лазер с широкой диаграммой направленности работает в условиях хорошей прозрачности АК, при ухудшении прозрачности происходит автоматическое переключение на лазер с узкой диаграммой. Кроме того, в этой АОЛС для повышения надежности связи используется адаптивно изменяемая скорость передачи информации в

флуктуаций интенсивности. Он заключается в том, что в пределах приемной антенны, размеры которой превосходят радиус корреляции интенсивности оптического излучения в АК, будут найдены участки принимаемого волнового фронта с противоположными знаками. В результате полный поток излучения, проходящий через антенну, будет флуктуировать слабее. Этот способ эквивалентен классическому разнесенному приему с двумя и более ветвями разнесения, каждая с соб-

и некоррелированно складываются, что уменьшает замирания. Кроме того, данный способ увеличивает суммарную выходную мощность передатчика. Примером комплексного применения названных способов служит АОЛС Artolink, в которой имеются два излучателя и три приемника. В принципе, количество излучателей может быть увеличено, а их мощности могут отличаться. Например, при установке в передающее устройство трех излучателей, функции которых распределены следующим образом. Один (маломощный) работает основную часть времени в условиях высокой прозрачности АК, более мощный начинает действовать при ухудшении прозрачности АК и, наконец, самый мощный включается только при самых низких значениях прозрачности АК. Разумеется, переключение излучателей должно происходить автоматически по мере изменения прозрачности. Изменение прозрачности АК приводит к вариациям энергетических потерь лазерного излучения на трассе в диапазоне от 30 до 60 дБ, поэтому при использовании одного излучателя с постоянной мощностью необходимо на входе приемного устройства использовать оптическую автоматическую регулировку уровня сигнала, ибо электронная регулировка уровня не в состоянии перекрыть такой диапазон.

Если же на трассе возникает настолько сильное ослабление лазерного излучения, что не помогает ни сужение диаграммы направленности, ни суммарное действие передатчиков, то в некоторых моделях АОЛС предусматривается автоматический переход на резервный канал. Такие комбинированные АОЛС разработаны фирмой SVL (Германия), ГРПЗ и другими производителями. Резервный канал размещается либо в миллиметровом диапазоне (около 60 ГГц), либо в сантиметровом. Для диапазона 60 ГГц не требуется разрешения на его использование, но волны этого диапазона испытывают заметное

## АОЛС широко используются в основном в корпоративных и сотовых сетях связи.

зависимости от состояния АК (при ухудшении прозрачности скорость автоматически уменьшается с целью повышения энергетического потенциала АОЛС, а при улучшении увеличивается).

Замирания приводят к снижению помехоустойчивости АОЛС. Для преодоления влияния замираний используют несколько способов, в частности, основанный на специфическом для оптического диапазона эффекте осреднения

своим приемником и оптической антенной. Но применяемая в способе осреднения большая приемная антенна дает возможность перехватывать большую часть лазерного пучка и тем самым повышать энергетический потенциал АОЛС [3]. Для борьбы с замираниями используется также одновременная работа двух и более разнесенных в пространстве излучателей, сигналы которых проходят различные пути до приемника

### мнение специалиста



**Наталья ВОЛКОВА**, информационный отдел «Аспеннет»

Анализ продаж и установок АОЛС нашей компанией подтверждает тезис, приведенный в статье, что основными потребителями данного оборудования являются корпоративный сектор и сотовые операторы, которые покупают его для преодоления коротких расстояний на больших скоростях. Тем не менее, у операторов связи все еще существует некоторое недоверие к этим системам, хотя оно постепенно ослабевает. Этому во многом способствует то, что основные производители АОЛС постоянно совершенствуют свои изделия, вводят новые разработки, повышающие надежность и качество каналов связи. Информация о новом оборудовании атмосферной оптики, появившемся у основных российских производителей в последние один-два года, и в котором учтены недостатки предыдущего поколения этих систем, дает возможность оператору осознанно выбирать решение для своих линий связи.



поглощение в атмосферных осадках, а для волн сантиметрового диапазона требуется такое разрешение, и, следовательно, исчезает одно из достоинств АОЛС.

Повышение помехоустойчивости АОЛС в турбулентном АК обеспечивается и различными вариантами кодирования в оптическом тракте с использованием кодов Рида – Соломона (АОЛС «Лантастика»).

Наконец, следует остановиться на роли фоновых помех, которые также приводят к снижению помехоустойчивости АОЛС. Современные АОЛС являются цифровыми системами, использующими энергетический прием двоичных амплитудно-модулированных сигналов. Действие приемника заключается в подсчете количества сигнальных фотонов в интервале времени, соответствующем двоичной посылке, и в сравнении результатов с уста-

новленным порогом приемника. Вероятность пропуска сигнальных фотонов зависит от степени турбулентности и фоновой засветки в АК. Меняя величину порога, можно регулировать вероятность ошибки в принимаемой информации [4, 5]. Фоновую засветку уменьшают путем оптической селекции в приемном устройстве, включающей спектральную, пространственную и поляризационную фильтрации.

В большинстве современных АОЛС имеются интегрированные с основным оборудованием служебные дуплексные аудиоканалы и устройства внешнего интерфейса, позволяющие с помощью подключенного к нему компьютера с установленной программой контролера регистрировать параметры приемопередатчика.

Таким образом, рассмотренные способы повышения качества и надежности АОЛС обеспечи-

## Литература

1. Милютин Е. Р., Гумбинас А. Ю. Статистическая теория атмосферного канала оптических информационных систем. – М.: Радио и связь, 2002.
2. Шельгов В. И. Российский рынок оборудования FSO // Сети и системы связи. 2007. № 1 (149). С. 26 – 30.
3. Wasiczko L. M., Davis C. C. Aperture averaging of optical scintillations in the atmosphere: experimental results // Proc. SPIE. 2005. Vol.5793. P. 197 – 208.
4. Милютин Е. Р. Влияние вариаций фона на флуктуации интенсивности лазерного излучения в системах атмосферной оптической связи // Оптика и спектроскопия. 1998. Т. 85. № 1. С. 158 – 159.
5. Милютин Е. Р. Помехоустойчивость оптических систем передачи информации в турбулентной атмосфере // Оптика атмосферы и океана. 1999. Т. 12. № 4. С. 326 – 328.

вают увеличение энергетического потенциала и улучшение всех параметров работы АОЛС. ■

## «Мизель» совершенствует службу поддержки

Холдинг «Мизель» и «Verysell Проекты», входящая в Группу компаний Verysell, приняли совместное решение о продолжении развития ранее автоматизированной службы поддержки пользователей на основе решения FrontRange HEAT Service Desk.

С целью повышения качества работы пользователей с информационными сис-

темами руководство «Мизель» приняло решение осуществить развитие ранее автоматизированной службы поддержки пользователей. После успешной автоматизации компанией «Verysell Проекты» службы поддержки на основе платформы FrontRange HEAT выбор холдинга «Мизель» остался неизменным, и партнером по раз-

витию была выбрана та же компания. В ближайшее время стороны начнут работы по регламентации функций службы поддержки, процедур управления инцидентами и проблемами, а также по настройке и внедрению программных продуктов Microsoft SMS и MOM.

[www.verysell.ru](http://www.verysell.ru)

## В Citrix – новый директор по маркетингу

Компания Citrix Systems начала вторую половину 2007 г. с реструктуризации департамента маркетинга. Так, Эдвин Стернитски будет отвечать за маркетинговую деятельность на территории Германии, Австрии, Швейцарии и Восточной Европы. Г-н Стернитски будет непосредственно подчинен исполнительному директору и вице-президенту компании Citrix по Центральной и Восточной Европе Карл-Хайнцу Варуму. Задачей Эдвина Стернитски будет

продвижение решений доставки приложений по особой методике целевых групп с использованием как местных, так и региональных мероприятий, диалогового маркетинга и PR-деятельности. Результатом его деятельности должно стать формирование надежных связей с партнерами, а также создание местных команд в каждой из стран.

Эдвин Стернитски является сотрудником компании Citrix Systems с апреля 2000 г. До назначения на пост директора по мар-

кетингу он занимал различные управленческие должности, и в рамках своих обязанностей отвечал за товарный маркетинг, маркетинговые коммуникации и связи с прессой на территории Центральной Европы. В частности, г-н Стернитски уделял особое внимание запуску новых продуктов, а также позиционированию технологий компании Citrix на основании целевых групп и особенностей рынков.

[www.citrix.de](http://www.citrix.de)