



ПРИМЕНЕНИЕ ОТКРЫТЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ В СЕТЯХ СВЯЗИ

Ю.И. Яременко

СПб филиал компании «ГолденТелеком»

Использование различных оптических эффектов для передачи информации уходит своими корнями в глубокое прошлое. Например, отражающие солнечный свет сигнальные зеркала, сигнальные костры на сторожевых вышках, позднее — сигнальные фонари прожекторного типа и т. п. Столь же давно передача информации оптическими методами использовалась в коммерческих целях. Благодаря А. Дюма стал широко известен способ использования графом Монте-Кристо оптического телеграфа для разорения барона Данглара. Кстати, аналогичный оптический телеграф функционировал в XIX веке между Петербургом и Варшавой.

➤ В настоящее время оптическая связь — это род электро-связи, передача и прием сигналов любого вида электросвязи в оптическом диапазоне электромагнитных волн. Наиболее широко используемой для связи частью оптического диапазона, простирающегося от рентгеновского до субмиллиметрового (длины волн λ от 0,1 до 100 мкм), является область от 0,4 до 10,6 мкм, включающая видимый ($\lambda=0,4...0,75$ мкм), ближний инфракрасный (ИК) ($\lambda=0,75...2$ мкм) и средний ИК ($\lambda=2...20$ мкм) диапазоны. Средой распространения оптических сигналов могут быть свободное пространство, атмосфера, вода — для открытых оптических систем передачи (ООСП, или FSO — Free Space Optics) или оптические волноводы, в качестве которых чаще всего применяются оптические волокна, являющиеся составной частью оптического кабеля, — для волоконно-оптических систем передачи (ВОСП, или FOTS — Fiber Optic Transmission System).

Рассмотрим по материалам отечественной и зарубежной печати [1–22] историю развития, основные области внедрения оптических систем передачи (ОСП) для расширения ассортимента, повышения качества предоставляемых пользователям услуг связи, роста эффективности систем и сетей связи (СС), а также некоторые аспекты разрешения возникающих при этом технических проблем.

ОСП отличаются от прочих систем передачи только особенностями построения линейного тракта, который включает в себя среду распространения и совокупность технических средств, обеспечивающих формирование, передачу, распределение, преобразование и обработку оптических сигналов в одной и той же полосе частот или с одной и той же пропускной способностью, определяемых номинальным числом каналов передачи. Основными элементами оконечной аппаратуры оптического линейного тракта являются передающие (ПОМ) и приемные (ПРОМ) оптоэлектронные модули. В ПОМ чаще всего используются полупроводниковые лазеры (для ООСП также твердотельные, газовые и другие лазеры), а в ПРОМ — фотоэлектрические полупроводниковые приемники излучения (для ООСП также фотоэлектронные умножители (ФЭУ), болометры и др.).

ОСП обладают потенциально высокой пропускной способностью, помехозащищенностью и, как следствие, повышенной степенью защиты информации, безопасностью и живучестью. Важным преимуществом ООСП перед радиоэлектронными средствами (РЭС) для операторов является отсутствие необходимости многомесячной процедуры получения разрешения на

использование полос радиочастот. Вместе с тем оптические компоненты ОСП обладают повышенной чувствительностью к воздействию метеоявлений и ионизирующих излучений. Все это необходимо учитывать при разработке стратегии и тактики применения ООСП для обеспечения требуемого качества услуг связи, однако более детальное рассмотрение вышеперечисленных вопросов выходит за рамки данной статьи и требует отдельных публикаций.

Анализ факторов, определяющих условия функционирования СС и преимуществ ООСП, позволяет сформулировать основные направления их внедрения [16].

ООСП могут применяться в следующих случаях:

- в качестве абонентских линий и линий привязки;
- на внутриобъектовых и соединительных линиях;
- для образования сетки линий в локальных вычислительных сетях;
- в качестве релейных вставок в ВОСП (например, при преодолении водных преград и т. п.);
- для связи между ретрансляторами на летно-подъемных средствах (ЛПС);
- для связи между ретрансляторами на ЛПС и космических аппаратах (КА);
- для связи между ретрансляторами на КА;
- на линиях ЛПС (КА) — подводный объект;
- для связи между кораблями флота (в первую очередь, военно-морского).

Рассмотрим более подробно современное состояние и перспективы реализации перечисленных вариантов применения ООСП.

Исторически сложилось так, что вначале исследовались возможнос-

ти широкого применения ООСП различного назначения. Необходимо отметить, что изначально использовалась аббревиатура АОЛС — атмосферные оптические линии связи. После появления в конце 1960-х годов достаточно мощных и долговечных газовых и твердотельных лазеров появились проекты создания систем связи между наземными объектами, кораблями флота, между спутниками, спутниками и ЛПС, спутниками и подводными объектами. Рассматривались варианты космической связи с использованием лазеров на углекислом газе (CO₂) и на алюмоиттриевом гранате, активированном неодимом (АИГ-Nd) с удвоением частоты, работающих в окнах прозрачности атмосферы. Для связи с подводными объектами планировалось использовать зеленый аргоновый лазер, излучение которого меньше поглощается в морской воде. Широко исследовались вопросы влияния атмосферы и океана на распространение оптического излучения и электромагнитной совместимости оптико-электронных средств на наземных и космических трассах [1–15].

Первые опыты по осуществлению лазерной связи были предприняты в США в 1962 году фирмой Hughes Aircraft. В экспериментах с помощью линии связи на гелий-неоновом (He-Ne) лазере с длиной волны $\lambda = 0,6328$ мкм сигналы передавались через атмосферу на большие расстояния.

В 1963 году фирма North American Aviation сообщила о первой передаче телевизионных сигналов с помощью лазерного луча. В том же году были проведены эксперименты по передаче информации с самолета на погруженные в море объекты по оптическому каналу.

Первый эксперимент, подтверждающий возможность создания космической оптической линии связи, был выполнен специалистами NASA в 1968 году. Во время полета корабля «Джеминай» космонавты установили связь с Землей с помощью лазерного луча, которая длилась 120 с и осуществлялась по двухступенчатой схеме: сначала сигналы с корабля «Джеминай» передавались на самолет, летящий на высоте 3–12 км, а с него — на наземную станцию. На обеих ступенях использовался аргоновый лазер с $\lambda=0,488$ мкм, а в качестве приемника — ФЭУ.

Во втором эксперименте сотрудникам NASA удалось выполнить ретрансляцию модулированного лазерного луча через спутник «Геос-2». Здесь был применен аргоновый лазер с выходной мощностью 3 Вт и расходимостью луча 2 мрад.

Получение хороших результатов экспериментов способствовало тому, что с 1969 года NASA приступило к выполнению долгосрочной программы разработки космической оптической линии связи на CO₂-лазере с $\lambda=10,6$ мкм (основной вариант) и на АИГ-Nd-лазере

с $\lambda=1,06:2=0,53$ мкм (дублирующий вариант) со скоростью передачи 300 Мбит/с.

Параллельно NASA по заказу ВВС США Научно-исследовательская лаборатория электроники и база ВВС «Райт-Паттерсон» осуществляли программу G 405B по разработке оптической системы связи между спутниками на АИГ-Nd-лазере.

Одновременно для изучения влияния атмосферы и океана были построены наземные лазерные линии. Так, в СССР с 1966 года действовала опытная оптическая телефонная линия связи между Ереваном и Бюроканской астрофизической обсерваторией протяженностью 25 км, с He-Ne-лазером ($\lambda=0,6328$ мкм) выходной мощностью 40 мВт. В США, в Уайт-Маунтин (штат Нью-Гемпшир, известном плохой погодой и изменчивостью форм облачности на горе Вашингтон, вершина которой до 70% времени находится в облаках, действовала линия протяженностью 7 км на рубиновом лазере ($\lambda=0,6943$ мкм).

В процессе исследований большое внимание уделялось вопросам оценки электромагнитной совместимости оптико-электронных средств при организации наземных и космических линий связи.

Однако первоначальный энтузиазм сменился разочарованием, когда выяснилось, какое сильное влияние оказывают метеоявления и атмосферная турбулентность на системы, работающие по атмосферному каналу, а также какое влияние оказывают рассеяние света в морской воде, волнующаяся поверхность раздела океана и атмосферы на подводные системы. Тем более что в 1970-х годах появились и начали быстро развиваться ВОСП.

Вместе с тем, хотя ни один из проектов ООСП 1970-х годов не был реализован в полном объеме, был накоплен значительный опыт в разработке компонентов этих систем (лазеров, модуляторов, фотоприемников, оптических антенн и др.), а также в решении вопросов наведения и сопровождения, разработке теории распространения оптического излучения в различных средах.

К 1990-м годам успехи в развитии технологии производства новых

Таблица 1 Параметры первых зарубежных наземных ООСП

Характеристики	Тип ООСП	
	LK-100	SA-13
Максимальная дальность связи, км	10	16
Длина волны излучения, мкм	0,9 (ППЛ)	0,905 (ППЛ)
Макс. импульсная мощность, Вт	-	8
Частота повторения импульсов, кГц	10	-
Полоса частот ТФ-канала, кГц	0,4-3,5	0,3-3,4
Угол поля зрения оптического приемника	7 град	50 мрад
Скорость передачи, кбит/с	-	10
Размеры, мм	210x200x90	-
Диаметр апертуры антенн, мм	-	100
Масса, кг	2	4

Таблица 2 Параметры первых отечественных наземных ООСП

Тип ООСП	Скорость, Мбит/с	Дальность связи, км	Энергопотребление, Вт		Габариты, мм	Масса, кг
			Рабочий режим	Дежурный режим		
ЛО115	0,115	10	6	1,2	200x300x150	3,5
СЛА110-8С	5	1	2	0,8	два, диам. 58 длина 190	2,2
СЛА110-8Д	5	1	2,5	1,2		3,0
СЛА110-1С	2,5	0,7	1,5	1,2	100x200x100	1,5
СЛА110-1Д	5	0,7	1,8	1,2	150x300x100	1,5

компонентов ОСП, связанные с разработкой и широким внедрением ВОСП, позволили вернуться к вопросам внедрения ООСП в практику на более высоком качественном уровне и новой компонентной базе.

Так, фирма GTE поставила ВВС США оборудование для ООСП между самолетами в воздухе. При демонстрации ООСП на базе ВВС в штате Огайо обеспечивалась высококачественная связь с помощью оптических приемопередающих устройств, установленных у иллюминаторов самолетов. Также прошла проверку система наведения и автоматического сопровождения оптических антенн. В качестве преимуществ данного варианта применения ООСП отмечались малый вес оборудования, более высокая безопасность и защита информации по сравнению с радиосвязью, более высокая устойчивость к воздействию помех.

По данным журнала «Defense Electronics», аналогичные испытания в рамках программы организации оптической связи между ЛПС HAVE LACE были проведены фирмой Air Force Aeronautical Systems. Связь осуществлялась между двумя самолетами С-135 на расстоянии до 160 км в зоне прямой видимости при изменении высоты полета от 1220 до 11 278 м. В качестве источника излучения использовался арсенид-галлиевый (GaAs) лазерный диод, а приемником излучения служил лавинный фотодиод. Прошли успешные испытания лазерной линии связи между самолетом С-135 и наземной базой в Нью-Мехико.

Результатом испытаний явилось создание на базе самолетов С-135 двух летающих лабораторий для

отработки вопросов организации оптической связи и ориентация исследований на создание мощных лазеров, способных «пробивать» облачный слой.

На флоте ведутся исследования по разработке оптических линий «надводный корабль — ЛПС» и «надводный корабль — надводный корабль». По оценке американских специалистов, дальность опти-

ческих линий второго типа может составить до 60 км.

В интересах наземных применений ООСП проводится пока ограниченный круг исследований. Работы в этом направлении ведутся в основном в Великобритании. Рядом английских фирм разработаны портативные переносные станции оптической связи на полупроводниковых лазерах (ППЛ) для передачи речевой и цифровой информации между наземными абонентами на дальности прямой видимости. Тактико-технические характеристики станций приведены в **табл. 1**.

Атмосферные ОСП применяются прежде всего для обмена данными между ЭВМ при организации локальных сетей, когда проводную сеть прокладывать невозможно или нецелесообразно.

В нашей стране на НПО «Заря» был освоен выпуск подобных ООСП, которые, кроме того, применялись для цифрового обмена ин-

Таблица 3 Параметры первых отечественных многоканальных наземных ООСП

Характеристики	Тип ООСП				
	КОТУ-2048	ОУ-64/2048			ОТУ-64
Скорость передачи цифрового потока, кбит/с	2048	2048			
Скорость передачи одного парциального канала, кбит/с	64	64	128	256	64
Число каналов в потоке 2048 кбит/с	30	30	15	7	
Дальность действия, м	не менее 200	не менее 200			от 200 до 1200
Длина волны, мкм	0,85	0,88			0,88
Мощность оптического излучения, мВт	20	20			20
Диаметр апертуры объектива, мм	100	100			100
Габариты приемопередающего (оптического) блока, мм	340x200x170	366x348x220			366x348x220
Габариты блока связи с линией АТС и с телефонным аппаратом, мм					240x200x100
Габариты оборудования объединения (разъединения), мм	430x1120x265	438x120x265			
Диапазон рабочих температур приемопередающего блока, С	50	50			50
Диапазон рабочих температур оборудования объединения (разъединения), С	+ (5-45)	+ (5-45)			
Относительная влажность наружных устройств, %	до 100	до 100			

Таблица 4 Параметры современных многоканальных отечественных и зарубежных наземных ООСП

Производитель	Модель	Выходная мощность, мВт	Тип источника излучения	Дальность связи (при МДВ=250 м), м	Примечания
PAV Data Systems	SkyCell 4E1-4000	300	Лазер	716	3 лазера
PAV Data Systems	SkyCell 4E1-2000	100	Лазер	592	
НИИПП (Квантово-оптические системы)	KC-300(500) 4E1	200	Лазер	614	4 лазера
НИИПП (Квантово-оптические системы)	KC-210 4E1	30	Лазер	468	
«Катарсис»	БОКС E2-ОСЗ	500	Светодиод	544	
«Катарсис»	БОКС E2-700	250	Светодиод	480	
Государственный Рязанский приборный завод	МОСТ 100/500	160	Лазер	522	Встроенный мультиплексор 4xЕ1
LaserBit Comms	LB 2500E2	280	Лазер	500	
LaserBit Comms	LB 1200E2	140	Лазер	438	
MRV Comms	TS-940/4E1	22	Лазер	480	
MRV Comms	TS-707/4E1	8	Лазер	294	
Sceptre (ОКБ МЭИ)	EasyLink 4	100	Светодиод	424	
fSONA Comms	Sonabeam 52M	640	Лазер	776	
fSONA Comms	Sonabeam 8E	100	Лазер	580	
LightPointe	FST 52/4000	16	Лазер	568	
LightPointe	FST 52/1000	4	Лазер	342	

формацией между абонентами, для проводки судов и наведения самолетов, а также в охранной сигнализации (табл. 2).

Кроме того, отечественной промышленностью был освоен выпуск аппаратуры ООСП, предназначенной для передачи основного (64 кбит/с) и первичного (2048 кбит/с) цифровых каналов. Например, НИИ Радио предлагал устройства, способные работать как на абонентских линиях, так и при организации линейных трактов и вставок в ВОСП (табл. 3).

В частности, представленный в табл. 3 комплекс аппаратуры ОУ 64/2048 предназначался для объединения (разделения) парциальных каналов со скоростями 64, 128, 256 кбит/с в стандартный поток

(2048 кбит/с), организованный в соответствии с рекомендацией G.704 МККТТ, и передачи этого потока по атмосферному оптическому каналу. Комплекс аппаратуры использовался для обеспечения дуплексной связи между абонентами и передачи цифровых информационных потоков со скоростью 2048 кбит/с на расстояние до 200 м в сложных метеорологических условиях (при плотном тумане с видимостью не более 3 м, при ливневых дождях, обильных снегопадах и т. п.). Оптический телефонный удлинитель ОТУ-64 предназначался для подключения ТА к абонентской линии АТС через атмосферный оптический канал (64 кбит/с).

В настоящее время ситуация на рынке быстро изменяется. В начале XXI века появились новые производители ООСП.

В табл. 4 представлены основные 4-канальные системы G.703/E1 (по данным производителей и публикациям [17–22]).

Необходимо отметить, что табл. 4 дает представление только об одном сегменте современного рынка ООСП. Производители также предлагают оборудование оптических линейных трактов для организации сетей Ethernet, Fast Ethernet, ATM-OC3/12, STM-1/4.

Одним из перспективных вариантов использования линии «наземный пункт приема информации (НППИ) — НППИ» зарубежные специалисты считают дистанционное управление подвижными средствами различного назначения. В целом для увеличения дальности и повышения надежности оптической связи могут применяться ретрансляторы (как наземные, так и на ЛПС), причем они должны быть дистанционно управляемыми.

Рассмотрим более подробно другие возможные применения ООСП. В настоящее время научно-исследовательская лаборатория ВМФ США в Лос-Аламосе разрабатывает проект связи подводных аппаратов в погруженном состоянии между собой, а также с объектами на поверхности и в воздухе при помощи лазерного луча в синей области спектра ($\lambda=450$ нм) с минимальным поглощением в океане. В качестве достоинств такой системы отмечаются полное отсутствие акустических шумов и возможность применения для обнаружения аппаратов.

Особое внимание исследователей привлекает возможность обеспечения оптической связи с подводными аппаратами через спутники (программа SLCSAT) с использованием газовых или твердотельных лазеров. В рамках этой программы фирма Northrop разрабатывает газовый лазер на хлориде ксенона, работающий на длине волны $\lambda=459$ нм. В области разработки твердотельных лазеров ведущие позиции занимает фирма Mc Donnell Douglas Astronautics. На выполнение программы SLCSAT к 1990 году планировалось затратить более 1 млрд. долл. США.

Таблица 5 Средства связи с погруженными подводными аппаратами

Характеристики	SLCAIR	SLCSAT
Страна-изготовитель	США	США
Тип излучателя		Лазер на хлористом ксеноне
Длина рабочих длин волн, мкм	0,47-0,53	0,459
Высота установки излучателя, км	1-20	500-35 000
Место установки излучателя	Самолет	Спутник
Предельная глубина погружения ПА при уверенной связи, м	250 (ТЛГ) 150 (ТЛФ)	
Применение в системах		Система лазерной связи ВМС США
Внедрение, годы	1991-2010	1996-2010

Работы по созданию ООСП с подводными аппаратами проводятся в США по программе SLC (Submarine Laser Communication) с конца 1970-х годов. Руководство программой осуществляет исследовательский центр океанских систем ВМС США (NOSC) в Сан-Диего (штат Калифорния). Программа SLC предусматривает проработку трех вариантов.

Первый предполагает размещение лазерного передатчика на искусственном спутнике Земли (ИСЗ) (SLCSAT), а связь «земная станция (ЗС) — КА» будет осуществляться по радиоканалу. Второй основывается на применении лазерного передатчика воздушного базирования (SLCAIR). Третий предполагает использование наземного передатчика совместно с системой зеркал космического базирования.

В качестве приоритетного признан первый вариант, однако все разрабатываемые ООСП проходят проверку предварительно по программе SLCAIR, а затем уже, с учетом доработок и усовершенствований, — по программе SLCSAT.

В 1980-х годах прошли успешные испытания ООСП самолет — подводный аппарат с использованием лазеров на хлористом ксеноне (XeCl, длина волны $\lambda=0,308$ мкм с последующим преобразованием в синезеленую область спектра $\lambda=0,459$ мкм) и с использованием твердотельного лазера на алюмоиттриевом гранате, активированном ионами неодима (АИГ-Nd, $\lambda=1,06$ и $0,53$ мкм с последующим преобразованием в длину волны $\lambda=0,455$ мкм).

В 1991 году успешно завершены испытания ООСП между самолетом и аппаратом «Дельфин». Важной особенностью этих испытаний является то, что впервые проверялась возможность установления связи с помощью лазера с борта аппарата на самолет, выполнявший полет по заданному маршруту.

Затем начался второй этап работ по SLC, предусматривающий проведение исследований в космическом пространстве. В настоящее время прорабатывается проект высокоскоростной оптической передачи информации с геостационарных спутников на высоколетящие ЛПС, между ЛПС и с них на подводные аппараты в погруженном состоянии. Эти разработки ведут две главные компании — Mc Donnell Douglas Electronic Systems Company и Rockwell International. В США считается, что интегральная сеть космиче-

ской оптической связи обеспечит передачу сигналов управления и связи с максимальной секретностью, скоростью и надежностью. Завершить проект планировалось в 1998 году. Однако в открытой печати не удалось обнаружить отчета о результатах и дальнейшей судьбе проекта.

В табл. 5 приведены тактико-технические характеристики средств связи оптического диапазона, предназначенных для организации связи с подводными объектами.

По заказу Европейского космического агентства разработан проект Европейской системы космической оптической связи (DRS), включающей геостационарные и низкоорбитальные спутники-ретрансляторы. В DRS предусматривается применение полупроводниковых источников когерентного оптического излучения на соединениях GaAlAs в передатчиках и способа прямого фотодетектирования в приемниках. В системе используются три различных приемника излучения для наведения, сопровождения и приема информации. Первые два представляют собой ПЗС-матрицы, а последний — лавинный фотодиод. Для наведения низкоорбитального спутника служит специальный маяк, выключающийся во время передачи информации. Часть принимаемого сигнала используется для работы системы наведения и сопровождения. Оценено оптимальное разделение оптического сигнала для приема информации и удержания ориентации, обеспечивающее минимальный диаметр те-

Таблица 6 Европейская космическая ООСП

Параметры	Значения
Рабочие длины волн, мкм	от 0,81 до 0,87
Средняя излучаемая мощность, мВт	50
Скорость передачи информации Мбит/с/канал	от 1 до 120
Диаметр антенны геостационарного спутника, см	35
Диаметр антенны низкоорбитального спутника, см	20
Динамическая ошибка наведения, мкрад	0,3
Статическая ошибка наведения, мкрад	0,5
Вероятность ошибочного приема символа	10-6
Расчетная дальность связи, км	45 000

Таблица 7 Параметры космических ООСП

Характеристики	SILEX	США	Япония
Тип ОМЛС	КА - КА	КА - КА КА - ЗС КА - ЛПС	КА - ЗС ЗС - КА КА - КА
Тип лазера	GaAlAs - ППЛ	ППЛ	ППЛ — вниз аргоновый — вверх
Рабочая длина волны, мкм	0,83	0,83	0,83 - вниз 0,51 - вверх
Средняя мощность излучения, мВт	30	30-при гетеродинном приеме 70-при прямом приеме	14 - вниз 4 Вт - вверх
Скорость передачи информации, Мбит/с/канал	120	220	1
Диаметр антенны спутника, мм	250	200	75
Тип приемника	ЛФД	-	ЛФД
Вероятность ошибочного приема символа	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁹	-	-
Тип системы наведения	ПЗС-матрица	ПЗС-матрица	ПЗС-матрица

лескопа. Параметры системы приведены в табл. 6.

Полное численное моделирование системы DRS показало, что основным элементом, определяющим ресурс и устойчивость работы, является оптический передатчик.

Также проводились три крупные разработки космических оптических линий связи в Западной Европе (проект SILEX — Semiconductor Laser Intersatellite Link Experiment), Японии и США под эгидой NASA.

Проект SILEX предусматривал осуществление лазерной связи между низкоорбитальным космическим аппаратом и геостационарными спутниками. Эксперименты проводились с 1989 года; ввод в эксплуатацию оптической межспутниковой линии связи (ОМЛС) был намечен на 1995 год. В открытой печати не удалось обнаружить сведений о вводе объекта в эксплуатацию.

Японский проект предусматривал передачу информации по оптическому каналу с геостационарного спутника ETS-VI на Землю (при отсутствии облачности), а также на низкоорбитальный спутник и самолет. На 1997 год намечался ряд экспериментов по организации ОМЛС между низкоорбитальным спутником и спутником на геостационар-

ной орбите (ГСО) «Artemis» (запуск произведен в 1996 году).

Американский проект предполагал осуществление оптической связи между специализированным геостационарным спутником ACTS и Землей, а также на трассах ACTS — низкоорбитальный спутник и ACTS — самолет. Бортовые испытания планировалось начать уже в 1992 году.

Предполагается проведение экспериментов с приемниками прямого детектирования и гетеродинным через общую антенну и осуществление многоканальной связи со спектральным разделением каналов (разработаны мультиплексоры на 4 и 7 каналов).

Таблица 8 Параметры ООСП «LACE»

Параметры	Значения
Рабочая длина волны, мкм	0,86
Тип лазера	GaAlAs-ППЛ
Средняя излучаемая мощность, мВт	30
Скорость передачи информации, Мбит/с	до 220
Устойчивость к перегрузкам, единиц	16,2
Потребляемая мощность при работе, Вт	4,2
Расчетная дальность связи, км	более 23 тыс.

Параметры вышеупомянутых космических ООСП представлены в табл. 7.

Особо необходимо отметить, что, по данным журнала «Signal», в странах блока НАТО имеется ряд специальных военных программ оптической связи. Поэтому в прогнозе США о военно-техническом развитии до 2013 года говорится: «В области систем командования, управления и связи будет происходить дальнейшая интеграция средств электрической и оптической связи».

Разработка ООСП в странах НАТО ведется по программам всех видов вооруженных сил, а также в комплексной программе противоракетной обороны. При этом координируемые со стороны США исследования и обмен научно-технической информацией проводятся в Великобритании, Германии, Франции и Японии.

Так, в качестве наиболее перспективной принята концепция применения ООСП космического базирования. При этом ОМЛС могут быть организованы между КА, размещенными на различных орбитах: низких (500-6000 км), высоких (до 40 000 км), эллиптических и геостационарных.

На низких орбитах будут находиться специализированные спутники (С), решающие задачи по наблюдению за наземной, воздушной и космической обстановкой, обнаружению, распознаванию и сопровождению целей на среднем и активном участках, сбору и обработке разведывательной информации и связи с разведгруппами.

Для осуществления «сброса» информации со специализированных спутников предусматривается использование в качестве ретрансля-

торов спутников, находящихся на ГСО. Протяженность таких линий может составлять до 45 тыс. км. Связь будет осуществляться при нахождении С в зоне видимости спутника-ретранслятора (СР), и продолжительность сеанса ориентировочно составит 30-40 минут. Учитывая, что С могут находиться за пределами зон обслуживания спутников-ретрансляторов (они обслуживают определенные земные станции), СР предполагается размещать на ГСО над разными регионами Земли. Тогда для доведения информации от С до ЗС, находящейся в любой точке земного шара, необходимы ОМЛС между СР. Дальность таких линий связи будет составлять порядка 72 тыс. км.

Работы в этом направлении ведутся многими зарубежными фирмами и научно-исследовательскими учреждениями по контрактам министерств обороны и распределены по комплексным экспериментам, связанным с выводом в космическое пространство исследовательских и целевых искусственных спутников Земли.

Так, для подтверждения концептуальных возможностей и технической осуществимости создания ООСП в США проведен ряд практических экспериментов («RME»-Relay Mirror Experiment, «LACE»-Laser Atmospheric Compensation Experiment, «ACE»-Agile Control Experiment) и планируются эксперименты «Starlab», «Delta», а также с использованием кораблей «Space Shuttle».

Параметры ООСП, использованной в эксперименте «LACE», приведены в табл. 8.

В ходе экспериментов отрабатываются следующие вопросы:

- обнаружение и сопровождение источников оптического излучения; точное наведение оптического луча на объект;
- быстрое перенацеливание оптического луча с одного объекта на другой;
- динамическая компенсация дрожания оптического луча;
- управление фокусировкой излучения;
- обеспечение переотражения оптического излучения одной ЗС на другую ЗС.

В рамках программы DSP (Defense Support Program) разрабатыва-

ется вариант оптической связи между спутниками дальнего обнаружения запусков баллистических ракет. Особенностью данных систем является наличие оптико-электронной аппаратуры обнаружения излучения факелов ракет (ИК-диапазон; $\lambda=2,7$ и $4,3$ мкм), что предъявляет требования к обеспечению ЭМС. Применение ООСП в системе DSP позволит, по мнению специалистов, снизить массогабаритные показатели ИСЗ и необходимый ресурс по электропитанию почти в 10 раз. Предположительно в 1990 году, одновременно с установкой на м. Канаверал (штат Флорида) наземной станции оптической связи, образец ООСП был установлен на борту ИСЗ «Имеюс-15».

В соответствии с концепцией «Бриллиант Пиблз», предусматривающей создание малогабаритных ИСЗ-перехватчиков, предполагается использовать три типа ООСП: собственно между ИСЗ-перехватчиками, «ИСЗ-перехватчик — наземный командный пункт» и «ИСЗ-перехватчик — ИСЗ обнаружения и сопровождения баллистических ракет».

Имеются проекты применения космической оптической связи в системе Defense Satellite Communications Systems и в сети спутниковой связи Milstar, предназначенной для осуществления связи во время и после ядерной войны. Военные специалисты США считают, что разведзащищенность и устойчивость ООСП в перспективе позволят применить эти системы в программе СОИ.

Анализ проводимых за рубежом работ показал, что 1990-е годы ознаменовались переходом к натурным испытаниям и коммерческому использованию линий межспутниковой оптической связи. К 2010 году в системах спутниковой связи планируется повсеместный переход в высокочастотный диапазон с использованием лазерной техники на межспутниковых линиях связи. Как большое преимущество отмечается, что такие линии не будут иметь ограничений по ширине полосы частот, а следовательно, и по пропускной способности. Единственной проблемой остается преодоление атмосферных влияний на линии связи с Землей. Вышеизложенное по-

зволяет констатировать, что имеются широкие возможности повышения эффективности СС на основе рационального применения ООСП.

Таким образом, анализ проводимых в нашей стране и за рубежом работ по созданию средств связи оптического диапазона показывает, что в настоящее время заканчивается этап получения информации, необходимой для принятия решения о переходе к полномасштабной разработке открытых оптических систем связи различного назначения.

Можно выделить три основных направления работ в данной области:

- создание эффективных передающих и приемных модулей;
- исследование воздействий окружающей среды на характеристики оптического излучения;
- разработка стратегии и тактики применения средств связи оптического диапазона для повышения качества услуг связи.

Вместе с тем необходимо констатировать, что, хотя ввод в коммерческую эксплуатацию отдельных образцов ООСП начался в конце 1990-х годов, однако полномасштабная практическая реализация разрабатываемых концепций создания оптических систем, решающих задачи управления и обеспечения связи, может начаться не ранее 2005 года.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Васильев В.П. Разработка межспутниковых лазерных линий связи. -Техника средств связи, сер.ТРС, 1990, вып.1, с.38-42.
2. Гудвин Ф. Действующие лазерные системы связи. Обзор. — ТИИЭР, 1970, т. 58, N 10, с. 365-372.
3. Макелрой Дж.К. и др. Системы связи для ближнего космоса, использующие лазеры СО. — ТИИЭР, 1977, т. 65, N 2, с.54-89.
4. Росс М. и др. Оптическая связь в космосе с использованием лазера на АИГ:Nd. — ТИИЭР, 1978, т. 66, N 3, с. 5-89.
5. Гуляев Ю.Д., Манжура Ю.Г. Лазерные космические системы связи. — Зарубежная радиоэлектроника, 1979, N 9, с. 38-49.
6. Оптическая связь между подводным объектом и спутником. — Экспресс-информация, сер. Радиолокация, телевидение, радиосвязь, 1976, N 32, реф. 263.

7. Зуев В.В., Пьяных Н.И., Сальников И.М. Исследования в области электромагнитной совместимости оптико-электронных средств. — Зарубежная радиоэлектроника, 1980, N 3, с. 3–15.
8. Robinson C.A. Solid — State Laser Opens Undersea Observations. — Signal, 1990, v. 44, n. 7, p.p. 27–29.
9. Лазерные системы связи. — Иностранная техника и экономика средств связи, 1987, вып. 7(85), с. 2.
10. Оптическая связь между самолетами. Зарубежная техника связи. Серия: Телефония, телеграфия, передача данных, (Экспресс-информация ЦНТИ «Информсвязь»), 1987, вып. 3, с. 12.
11. Ефременко В.В. Оптические линии связи в космосе. // Итоги науки и техники. Сер. Связь. — М.: ВИНТИ, 1991, т. 8, с. 3–23.
12. Robinson C.A. Laser Diode Array Boost Satellite Communications. — Signal, 1990, v. 44, n. 7, p.p. 33–36.
13. Техника электросвязи за рубежом: Справочник / Л.И. Яковлев, В.Д. Федоров, Г.В. Дедюкин, А.С. Немировский. — М.: Радио и связь, 1990, с. 222–249.
14. Рудов Ю.К. Основные направления работы НПО «Дальняя связь». — Электросвязь, 1991, N 12, с. 6–10.
15. Konidaris S. European Integrated Broadband Communications — Addressed by the RACE Programm. — Proc. of the First International Soviet Fibre Optics Conference, 1991, v.1, p.p. 15–20.
16. Яременко Ю.И. Теоретические основы построения и применения средств связи оптического диапазона. — СПб.: ВАС, 1992. — 300 с.
17. Чачин П. Осваиваем ИК-диапазон. // Компьютерная неделя, 1999, №45(219).
18. Клоков А.В. Беспроводные ИК-технологии, истинное качество «последней мили». // Технологии и средства связи, 1999, №5, с.40–44.
19. Клоков А.В. Выбрать лучшие из лучших и... доступных систем. // ИнформКурьер-Связь, 2003, №8.
20. Кулик Т.К., Прохоров Д.В. Методика сравнительной оценки работоспособности лазерных линий связи. // Технология и средства связи, 2000, №6, с.8–10.
21. Дуг А. Новая технология под названием Free Space Optics может решить проблему дефицита пропускной способности. — LAN, 2001, №4.
22. Н.М. Павлов. Классификация аппаратуры и методика определения длины АОЛП. // Технологии и средства связи, специальный выпуск: Системы абонентского доступа, 2004, с. 74-80.



Пятая ежегодная конференция Национальной радиоассоциации

Актуальные вопросы повышения эффективности использования национального радиочастотного ресурса

•

Изменения в порядке доступа к радиочастотам

•

Пути дальнейшего упрощения процедур и сокращения сроков получения радиочастот

•

Государственное стимулирование экономного использования радиочастот

•

Проблемы частотного обеспечения новых радиотехнологий

•

Конверсия радиочастотного спектра и формы участия в ней операторов связи

Подробная информация о конференции: WWW.PGA.RU
 тел./ факс (095) 230 – 14 – 73
 E-mail: arprg@tb.ru



17-19
мая
2005 г.

теплоход
«Алексей Ватченко»
маршрут
Москва-Тверь-Москва

