УДК 621.396
Б.В. Поллер, А.В. Бритвин, С.И. Коняев, Ю.И. Щетинин
ИЛФ СО РАН, НГТУ, Новосибирск

О ХАРАКТЕРИСТИКАХ ОПТОРАДИОВОЛНОВЫХ РЕТРАНСЛЯТОРОВ ДЛЯ ЛАЗЕРНЫХ НАЗЕМНО-КОСМИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И ЛИНИЙ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ ОБЛАЧНОСТИ

В статье рассматривается возможность обмена информацией по оптическому каналу между космическим аппаратом и наземным пунктом в условиях облачности. Рассматривается схема преодоления облачного покрова за счет выноса опторадиоволновых ретрансляторов выше облачности. В статье рассматривается структура такого ретранслятора и некоторые результаты предварительных экспериментов.

B.V. Poller, A.V. Britvin, S.I. Konyaev, Y.I. Shetinin
ILP SB RAS, NSTU, Novosibirsk

ON THE CHARACTERISTICS OF OPTO-RADIOWAVE REPEATER TO LASER SATELLITE AND TERRESTRIAL NETS AND LINES OF COMMUNICATION IN THE CLOUD

The possibility of exchanging information on the optical channel between the spacecraft and ground in a cloud is considered. A scheme to overcome the cloud cover by moving opto-radiowave repeaters above the cloud is proposed. The article describes the structure of the repeater and some results of preliminary experiments.

Возрастание объемов передачи информации между различными континентами на Земле, рост сетей телевидения, развитие спутниковых систем навигации Глонасс определяет интерес к использованию лазерных наземно – космических линий связи [1 – 4]. Использование лазерных линий позволяет значительно увеличить скорость передачи информации, увеличить точность навигации. Однако большой проблемой создания наземно-космической связи остается преодоление затухания лазерного излучения в облачности. Одним из методов передачи информации с космических аппаратов в условиях облачности является использование опторадиоволновых ретрансляторов, размещаемых на беспилотных или аэростатных летательных аппаратах, шарах, выше облачности, вносящей главный вклад в затухание оптического сигнала.

Предлагаемая структура опторадиоволнового ретранслятора представлена на рис. 1.

Будем считать, что апертура оптической антенны равна площади A. Эффективность преобразования энергетической облученности примем равную $K_{пр}$, тогда поток на входе пленочного или волоконного элемента составит:

$\Phi_{вых} = A \cdot K_{пр}(E_c + E_ф)$,

где $E_ф$ – фоновая облученность, E_c – облученность полезным сигналом.

Эффективность преобразования $K_{пр}$ оценивается с одной стороны по соотношению входной и выходной мощности светового потока, это соотношение может достигнуть величины 0,1…0,2. При оценке изменения облученности для световода длиной 1 м и диаметром 1 мм с диаметром сердцевины 0,8 мм облученность на торце световода возрастает пропорционально соотношению площадей, и происходит рост облученности в несколько сот раз. То есть волоконно – оптический световод выполняет функции усиления сигнала по яркости в 100 – 200 раз (с изменением спектрального состава сигналов).

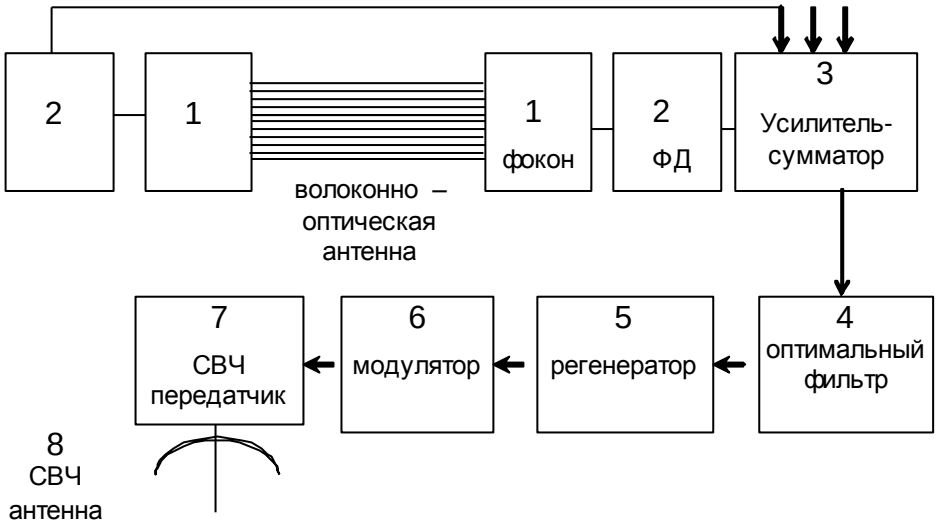


Рис. 1. Схема опторадиоволнового ретранслятора

Таким образом, предельная энергетическая облученность полезным сигналом E_c должна подчиняться неравенству

$E_c \geq к_з \cdot E_ф$.

Коэффициент $к_з$ – учитывает возможное увеличение $E_ф$ на высотах 3…5 км, а также учитывает необходимый запас по отношению сигнал/шум.

Быстродействие ретранслятора в основном будет определяться временными характеристиками оптического преобразователя. Для различных видов люминофоров минимальная длительность будет достигать значения 10^{-9} сек, и возможные скорости передачи будут достигать значения нескольких Гбит/сек. Дополнительное увеличение пропускной способности возможно за счет использования других длин волн лазерного сигнала и люминофора с другим спектром поглощения ΔS.

Актуальными вопросами для реализации таких ретрансляторов являются вопросы функционирования оптических антенн при подъеме их на шарах-зондах, аэростатах, беспилотных летательных средствах, а также вопросы приема УФ сигналов в условиях солнечных помех.

Для ответа на эти вопросы были исследованы характеристики приема УФ фона оптическими антеннами на базе лент из полимерных волоконных световодов с добавками люминофоров при подъеме их на метеозондах.

Метеозонды представляют собой эластичную оболочку диаметром 100, 150, 200 см, заполняемую водородом. На длинном шнуре к этой оболочке подвешивается радиозонд, передающий на землю данные о температуре и влажности при подъеме зонда. Грузоподъемность водорода 1,2 кг/м^3, гелия 1,11 кг/м^3.

Для используемых метеозондов скорость подъема составляет около 300 м/мин и зависит от величины подвешиваемого груза. В США в 2002 г. проводились эксперименты по использованию шаров с гелием для подъема радиоретрансляторов весом 3 кг для расширения зон сотовой радиосвязи. Срок службы такого ретранслятора составил около 24 часов.

Методика проведения эксперимента заключается в оценке характеристик оптических фонов E_ϕ на участке 290 – 410 нм при подъеме оптической антенны на высоты Н до 30 км в ясную погоду, в условиях облачности, в светлое время суток. Оценивается устойчивость и качество функционирования оптической антенны с преобразователем оптических сигналов в электрические при температурах до -70^{o}С и скорости ветра до 100 м/сек, кроме того, при наличии по трассе подъема метеозонда облачности ($S_m < 1$ км), по скачку изменения E_ϕ определяется высота верхней границы облачности, которая сопоставляется с высотой облачности по скачку влажности.

Круговая диаграмма направленности в горизонтальной плоскости антенны формируется тремя лентами из световодов, расположенных под углом 120º друг к другу, или тремя полимерными пленками с люминофорами. На метеозонде антенны размещаются на боковой поверхности крышки батарейного отсека.

Эффективность преобразования оптической антенны можно выразить двумя коэффициентами:

– Коэффициент преобразования по мощности K_p, который вычисляется как отношение мощности излучения люминесценции на оптическом выходе антенны к мощности излучения, падающего на антенну;

– Коэффициент преобразования по освещенности K_E, который вычисляется как отношение мощности излучения люминесценции на выходе антенны к освещенности антенны в рабочем диапазоне длин волн.

Коэффициент преобразования по мощности K_p показывает, какая часть падающего на антенну излучения преобразуется в излучение люминесценции. Коэффициент преобразования по освещенности K_E имеет размерность см^2 и характеризует эффективную площадь антенны.

Во время проведения эксперимента регистрировалось изменение солнечного фона в месте пуска синхронно с измерением с помощью оптической антенны на метеозонде. По анализу экспериментальных данных (рис. 2) можно заключить, что заход Солнца по сигналу оптической антенны произошел позже приблизительно на 20 мин, исходя из того, что одинаковый уровень облученности на оптической антенне на метеозонде наблюдался на 20 мин позже, чем на оптической антенне на земле.

При выходе оптической антенны из облачности на высоте 3,5 км произошел рост облученности примерно в 2 раза (29 мВт/м^2 и 67 мВт/м^2). Эти данные подтверждаются также скачком изменения влажности от 97,7 % внутри облака до 50,6 % выше облака. Дальнейшее снижение уровня облученности связывается с удалением от облака и заходом Солнца. Диапазон изменения облученности во время подъема оптической антенны от 0,075 Вт/м^2 до ориентировочно ~10^{-5} Вт/м^2. Освещенность на Земле в точке запуска за тот же период изменилась от 450 люкс до 0,5 люкс. Максимальная высота подъема составила 25,580 км, время нахождения выше облачности 78 минут, удаление от пункта запуска 136 км, удаление при выходе из облачности 9,5 км.

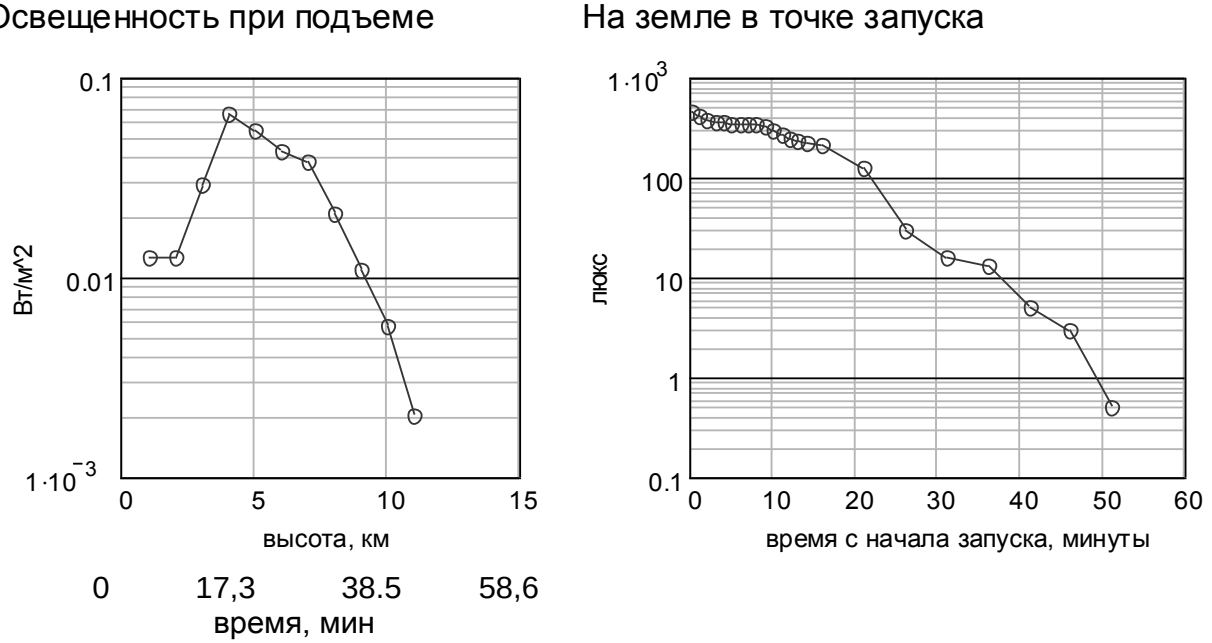


Рис. 2. Облученность по данным эксперимента

При запуске в условиях полной облачности верхняя кромка облачности была зарегистрирована на высоте около 2 км. По данным измерения влажности далее наблюдался второй слой облачности на высоте около 10 км, который, однако, не был зарегистрирован оптической антенной из-за отсутствия фонового сигнала из-за захода Солнца. Таким образом, выполненные эксперименты показали, что предложенные методы построения связи со спутником и другими наземными пунктами через оптико-радиоволновый ретранслятор, размещаемый на шаре-зонде на высотах до 25…30 км могут реализоваться. При проведении эксперимента использовался СВЧ радиопередатчик 40 мВт, генерирующий импульсы длительностью 200 нс, дальность связи с наземным пунктом достигала 120 км. Таким образом, можно сделать вывод, что с учетом ограничений по поднимаемому весу и питанию такой канал связи может обеспечить пропускную способность до нескольких десятков мегабит. При увеличении мощности и частот передатчиков и использовании нескольких ретрансляторов одновременно пропускная способность линии значительно возрастет, и будет обеспечена необходимая скорость передачи информации с космических аппаратов в условиях облачности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Багаев С.Н., Беляков В.Г. Поллер Б.В. Проблемы построения лазерных информационных сетей нового поколения / Сб. тез. докл. международного симпозиума «Современные проблемы лазерной физики». – ИЛФ СО РАН, Новосиб. – 1995. – С. 27.

2. Васильев В.П., Григорьев В.Н., Гараймович Н.П., Шаргородский В.Д. Лазерные межспутниковые системы передачи информации / Сб. докл. МНТК «Радио и волоконно-оптическая связь, локация и навигация». – ВГУ, Воронеж. – 1997. – Т.3. – С.1138-1154.

3. Дубинкин С.А., Кучин Е.Л., Сторчак О.Ю., Павлов Р.В. Принципы построения и функционирования лазерных космических средств связи / Сб. докл. МНТК «Радио и волоконно-оптическая связь, локация и навигация». – ВГУ, Воронеж. – 1997. – Т.3. – С. 1126-1128.

4. Поллер Б.В., Федоров Б.В., Щетинин Ю.И. К оценке характеристик систем лазерной связи «спутник – наземный пункт» / Сб. докл. 6 МНТК «Радиолокация, навигация, связь». – ВГУ, Воронеж. – 2000. – Т.1. – С.718-727.

© Б.В. Поллер, А.В. Бритвин, С.И. Коняев, Ю.И. Щетинин, 2011