

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ И СИСТЕМЫ ОПТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ
ПО АТМОСФЕРНЫМ КАНАЛАМ С УЧЕТОМ ИХ ДУАЛЬНОСТИ**

**Х.Г.АСАДОВ, Н.М.СУЛЕЙМАНОВ, А.Г.МАМЕДБЕЙЛИ, А.П.РАЙИ,
Ш.А.БАЙРАМОВА*, Р.А.ГАСАНОВА, А.Ф.МАМЕДОВА**

*Научно-Исследовательский Институт Аэрокосмической Информатики
Национального Аэрокосмического Агентства
AZ 1106, г. Баку, пр. Азадлыг, 159*

Особое Конструкторское Бюро Национального Аэрокосмического Агентства
AZ 1106, г. Баку, ул. С.С.Ахундова 1, корпус 2*

В данной работе выявлено свойства дуальности лазерной системы дистанционного зондирования с разделенными приемником и излучателем и атмосферной передачи данных. Предложен вариант двухволновой лазерной системы атмосферной передачи данных. Оценено условие получения большей точности в предлагаемой двухволновой структуре.

Как указано в [1], лазерное зондирование, связанное с измерением параметров атмосферы, необходимых для решения ряда гидрометеорологических климатических вопросов, охватывает самый широкий круг задач. Эти задачи требуют определения различных характеристик атмосферы, начиная от приземного слоя до высоких слоев атмосферы. Задачи исследования микроклимата городов и промышленных районов требуют наличия сведений о распространении и пространственно-временном распределении концентрации аэрозоля и газовых примесей. В лидарной системе, предназначенной для проведения соответствующих измерений, как правило, используются небольшие приемные оптические антенны с аналоговой регистрирующей аппаратурой. При этом необходимо отметить, что с точки зрения влияния атмосферных факторов на энергетику оптического зондирующего сигнала физические процессы, происходящие в лазерных системах дистанционного зондирования (лидары) и в лазерных атмосферных системах коммуникации в энергетическом смысле похожи. В настоящей статье мы проанализируем свойство дуальности вышеуказанных систем, укажем практическое значение этого свойства и на основе анализа предложим новую структуру построения систем передачи данных. Дуальность вышеуказанных систем в простейшем случае может быть объяснена следующим образом: Допустим между точками А и В (Рис.1) осуществляются следующие операции:

1. Лазерная передача данных из точки А в точку В.
2. Лазерный контроль атмосферы, имеющейся между точками А и В.

В рассматриваемом простейшем случае сигнал, принимаемый в пункте В определяется на основе закона Бугера-Бера. Так для системы лазерной коммуникации принимаемый сигнал $I(\lambda)$ определится как

$$I(\lambda)_{com} = I_0(\lambda) e^{-[\tau_a(\lambda) + \tau_p(\lambda) + \tau_z(\lambda)]} = I_0(\lambda) \cdot T_c, \quad (1)$$

где λ - длина волны; τ_a - оптическая плотность аэрозоля для выбранной трассы длиной L ; τ_p - оптическая плотность релеевского рассеяния для той же трассы; τ_z - оптическая плотность газов имеющих на трассе; T_c - коэффициент пропускания атмосферы.

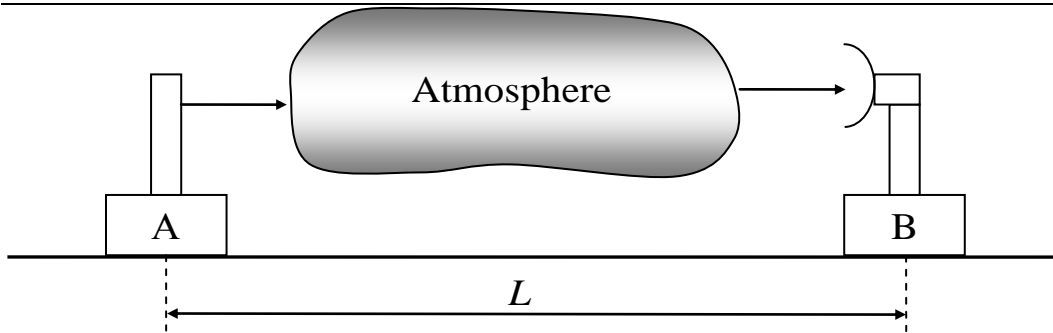


Рис.1.

Схематическое обобщение представление системы лидарного контроля атмосферы и лидарной системы коммуникации. А – узел передачи, В – узел приема, L – длина трассы.

Если рассмотреть случай аналогичного размещения передатчика и приемника, однако ставить цель измерения оптической плоскости газа $\tau_c(\lambda)$, то приходим к задаче лидарной системы, предназначенной для измерения газов, для которой

$$I(\lambda)_{Lid} = [I_0(\lambda)e^{-\tau_c(\lambda)}] \cdot e^{-[\tau_a(\lambda)+\tau_p(\lambda)]}. \quad (2)$$

Обозначив $I_0(\lambda) \cdot e^{-\tau_c(\lambda)} = I_{01}(\lambda)$, уравнение (2) перепишем как

$$I(\lambda)_{Lid} = I_{01}(\lambda) \cdot e^{-[\tau_a(\lambda)+\tau_p(\lambda)]} = I_{01}(\lambda) \cdot T_{Lid}. \quad (3)$$

Очевидно, что уравнение (3) совпадает по форме с уравнением (1) при $\tau_c(\lambda)=0$. Таким образом, приходим к выводу, что в рассматриваемом простейшем случае коэффициент пропускания атмосферы для системы лазерной коммуникации для случая отсутствия поглощающих газов на выбранной длине волны λ равен коэффициенту пропускания атмосферы лидарной системы, предназначенной для измерения газов на выбранной длине волны.

Таким образом, приемо-передающая пара оптической лазерной аппаратуры, в принципе, имеет дуальное предназначение и выше рассмотренные режимы работ этой пары приемо-передающей аппаратуры эквивалентны в энергетическом смысле, имея ввиду одинаковую степень затухания сигналов в этих двух приложениях. Исходя из вышеформулированного тезиса дуальности двух систем, утверждаем, что погрешности этих систем, возникающие из-за атмосферных факторов, идентичны. Отсюда следует вывод, что для исследования погрешностей вызванных атмосферными факторами достаточно лишь исследовать погрешность одной из этих систем. Конкретно говоря, для исследования погрешности лидарной системы, измерения газов вызванных влиянием таких атмосферных факторов, как аэрозоли и релеевское рассеяние, достаточно исследовать атмосферную погрешность дуальной системы лазерной атмосферной коммуникации без учета влияния поглощающих газов на выбранной длине волны.

В дальнейшем, в настоящей главе, руководствуясь вышеформулированным принципом дуальности, рассматриваем вопросы анализа и оценки погрешностей лазерной системы атмосферной коммуникации на выбранной длине волны.

Как указано в [2], одной из основных оптических характеристик атмосферы прибрежной зоны на длине волны λ является спектральный коэффициент общего ослабления $\varepsilon(\lambda)$, связанный с прозрачностью атмосферы $T(\lambda)$ соотношением

$$T(\lambda) = \exp(-\varepsilon_\lambda L), \quad (4)$$

где L - длина трассы в km.

В общем случае коэффициент общего ослабления излучения представляет собой сумму коэффициентов молекулярного рассеяния σ_p , аэрозольного ослабления α , континуального поглощения паров воды $K_{к.в.}$ и селективного поглощения малых газовых компонент и паров воды $K_{сн}$

$$\varepsilon(\lambda) = \sigma_p(\lambda) + \alpha(\lambda) + K_{к.в.}(\lambda) + K_{сн}(\lambda). \quad (5)$$

В Таблице 1 приведены средние значения $\varepsilon(\lambda)$, а в Таблице 2 – среднеквадратичные отклонения σ_ε по годам [1].

Таблица 1.

Средние значения коэффициентов общего ослабления $\bar{\varepsilon}_\lambda$.

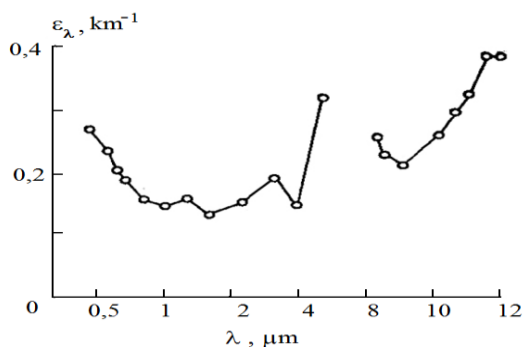
λ , мкм	$\bar{\varepsilon}_\lambda$, км ⁻¹					
	1974	1975	1976	1977	1979	1981
0,44	-	-	-	0,232	0,341	0,256
0,48	0,345	0,206	0,226	0,272	-	0,269
0,55	-	-	-	-	0,341	0,235
0,58	0,249	0,164	0,196	0,186	-	-
0,63	0,214	0,148	0,177	0,178	0,300	0,204
0,69	0,200	0,143	0,177	0,154	0,293	0,188
0,84	0,206	0,151	0,176	0,147	0,245	0,154
1,06	0,172	0,130	0,152	0,143	0,262	0,147
1,25	0,176	0,154	0,135	0,132	0,244	0,157
1,6	0,171	0,199	0,116	0,107	0,203	0,136

Таблица 2.

Значения среднеквадратичных отклонений σ_ε для массивов ε_λ .

λ , мкм	σ_ε , км ⁻¹					
	1974	1975	1976	1977	1979	1981
0,44	-	-	-	0,115	0,179	0,172
0,48	0,104	0,083	0,120	0,142	-	0,178
0,55	-	-	-	-	0,171	0,152
0,58	0,060	0,057	0,080	0,099	-	-
0,63	0,053	0,053	0,071	0,093	0,156	0,125
0,69	0,048	0,047	0,064	0,077	0,143	0,112
0,84	0,041	0,039	0,054	0,063	0,117	0,082
1,06	0,031	0,029	0,047	0,046	0,114	0,075
1,25	0,030	0,024	0,041	0,037	0,101	0,070
1,6	0,028	0,024	0,036	0,031	0,088	0,060

Для иллюстрации на Рис.2 представлена средняя спектральная зависимость коэффициента ослабления $\bar{\varepsilon}_\lambda$ для массива 1981г. Как видно из приведенного



рисунка, на оси длины волны можно выделить две точки λ_1 и λ_2 , при которых коэффициенты общего ослабления имеют равные значения.

Рис.2.

Усредненный спектральный код коэффициентов общего ослабления для прибрежных зон.

Указанное свойство мешающих атмосферных факторов может быть использовано для построения двухволновых скомпенсированных атмосферных систем оптической передачи данных.

Структурная схема двухволновой системы передачи данных показана на Рис.3, где цифрами обозначены: 1- передатчик с узлами передачи 1-1 на длине волны λ_1 и 1-2 на длине волны λ_2 , 2- канал связи (атмосфера), 3-1; 3-2 – приемники, 4- процессор.

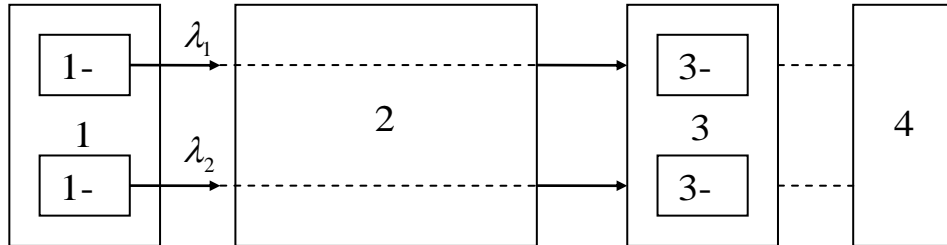


Рис.3.

Структурная схема предлагаемой двухволновой системы оптической передачи данных.

Основной принцип предлагаемой двухволновой системы заключается в посылке в канал связи (в атмосфере) как основного сигнала на длине волны λ_1 , так и компенсирующего сигнала с постоянной амплитудой на длине волны λ_2 . При этом, второй опорный сигнал предназначается для компенсации атмосферного эффекта. В дуальной лидарной системе двухволновой структуры предполагается наличие исследуемого газа с длиной волны поглощения λ_1 на пути прохождения лазерного луча с длиной волны λ_1 .

Проанализируем эффект повышения точности в предлагаемой системе двухволновой оптической передачи данных. Согласно выражениям (4) и (5) в приемных сигналах на выходах узлов 3-1 и 3-2 будут сформулированы сигналы

$$I(\lambda_1) = I_0(\lambda_1) e^{-(\bar{\epsilon}_{\lambda_1} + \sigma_{\epsilon_{\lambda_1}}) \cdot L}, \quad (6)$$

$$I(\lambda_2) = I_0(\lambda_2) e^{-(\bar{\epsilon}_{\lambda_2} + \sigma_{\epsilon_{\lambda_2}}) \cdot L}. \quad (7)$$

При этом $I(\lambda_1)$ является информативным сигналом, а $I(\lambda_2)$ - корректирующим опорным сигналом.

Процессор 4 (Рис. 3) вычисляет отношение

$$\gamma = \frac{I(\lambda_1)}{I(\lambda_2)} = \frac{I_0(\lambda_1)}{I_0(\lambda_2)} e^{-\left(\sqrt{\sigma_{\epsilon_{\lambda_1}}^2 + \sigma_{\epsilon_{\lambda_2}}^2}\right) \cdot L}. \quad (8)$$

При этом $\sigma_{\epsilon_{\lambda_1}}$ и $\sigma_{\epsilon_{\lambda_2}}$ суммируются статистически, так как эти величины случайны.

Таким образом, выигрыш в отношении сигнал/шум за счет перехода от одноволновой схемы оптической передачи к двухволновой схеме может быть оценен следующим образом

$$\beta = \frac{\theta_1(\lambda_1, \lambda_2)}{\theta_2(\lambda)} = \frac{\theta_1(\gamma)}{\theta_2(\gamma)} = \frac{\frac{I_0(\lambda_1)}{I_0(\lambda_2)} \cdot e^{-\left(\sqrt{\sigma_{\epsilon_{\lambda_1}}^2 + \sigma_{\epsilon_{\lambda_2}}^2}\right) \cdot L}}{e^{-(\bar{\epsilon}_{\lambda_1} + \sigma_{\epsilon_{\lambda_1}}) \cdot L}}}{e^{-(\bar{\epsilon}_{\lambda_1} + \sigma_{\epsilon_{\lambda_1}}) \cdot L}} = e^{-\left(\sqrt{2\sigma_{\epsilon_{\lambda_1}}^2 + \sigma_{\epsilon_{\lambda_2}}^2}\right) + \bar{\epsilon}_{\lambda_1}}. \quad (9)$$

Таким образом, выигрыш в отношении сигнал/шум при переходе от одноволновой системы к двухволновой системе может быть определен по формуле (9). Очевидно, что реальный выигрыш будет присутствовать при условии

$$\bar{\varepsilon}_{\lambda_1} > \left(\sqrt{2\sigma_{\varepsilon_{\lambda_1}}^2 + \sigma_{\varepsilon_{\lambda_2}}^2} \right), \quad (10)$$

при $\sigma_{\varepsilon_{\lambda_1}}^2 = \sigma_{\varepsilon_{\lambda_2}}^2$ имеем $\bar{\varepsilon}_{\lambda_1} > \sigma_{\varepsilon_{\lambda_2}} \sqrt{3}$

или при предположении полной идентичности каналов, опуская индексы, получаем

$$\frac{\bar{\varepsilon}_{\lambda}}{\sigma_{\varepsilon_{\lambda}}} > 1,71. \quad (11)$$

Следовательно, получено условие (11) определяющее наличие реального выигрыша в предложенной двухволновой системе передачи данных по оптическим атмосферным каналам.

В заключение сформулируем основные выводы и положения проведенного исследования.

1. Выявлено свойство дуальности лазерной системы дистанционного зондирования с разделенными приемником и излучателем и лазерной системы атмосферной передачи данных.

2. Предложена структурная схема двухволновой системы оптической передачи данных, которая также может быть применена в лидарных системах дуальных с этой структурой.

3. Оценены условия получения реального выигрыша в предлагаемой двухволновой структуре системы атмосферной передачи данных.

1. В.М.Захаров, О.К.Костко, С.С.Хмелевицев, *Лидары и исследование климата. Л. Гидрометеоиздат, (1990) 12.*
2. М.В.Кабанов, М.В.Панченко, Ю.А.Пхалагов, В.В.Вереженников, В.Н.Утегов, В.Я.Фадеев, *Оптические свойства прибрежных атмосферных дымок. Новосибирск, «Наука», (1988) 22, 44.*

LAZER MƏSAFƏDƏN ZONDLAMA SİSTEMİNİN VƏ ATMOSFER KANALI İLƏ VERİLƏNLƏRİN OPİK ÖTÜRÜLMƏSİ SİSTEMİNİN DUAL KEYFIYYƏTLƏRİ NƏZƏRƏ ALINMAQLA TƏDQIQI

H.H.ƏSƏDOV, N.M.SÜLEYMANOV, A.H.MƏMMƏDBƏYLİ, Ə.P.RAYI, Ş.Ə.BAYRAMOVA,
R.Ə.HƏSƏNOVA, A.F.MƏMMƏDOVA

Ayrılıqda yerləşdirilmiş qəbuledici və şüalandırıcıya malik olan lazer məsafədən zondlama sistemi ilə verilənlərin atmosferlə lazer ötürmə sisteminin duallığı keyfiyyəti aşkar edilmişdir. Verilənlərin atmosferlə lazer ötürmə sisteminin ikidalğa uzunluğu variantı təklif edilmişdir. Təklif edilmiş ikidalğa uzunluqlu strukturda daha yüksək dəqiqlik əldə edilmə şərti qiymətləndirilmişdir.

STUDY OF DUAL FEATURE OF LASER REMOTE SENSING SYSTEM AND ATMOSPHERIC OPTICAL DATA TRANSMISSION SYSTEM

H.H.ASADOV, N.M.SULEYMANOV, A.H.MAMMADBEYLI, A.P.RAYI,
S.A.BAYRAMOVA, R.A.HASANOVA, A.F. MAMEDOVA

The duality of laser remote sensing system with separate optical transmitter and receiver and atmospheric laser data transmission system has been revealed. The two-wavelength variant of atmospheric baser data transmission system has been suggested. The advantage of proposed structure on accuracy has been estimated.

Редактор: В.Салманов