3. Зайцев В.Ф., Шахманова А.К. Характеристика зоопланктона Восточной части Северного Каспия//Природопользование в аграрных регионах России. Материалы международной научно-практической конференции –М., 2006, -С.84-89.
4. Кенжегалиев А. Влияние инженерно геологических изыскательских (ИГИ) работ на зоопланктонных организмов моря Вестник// АГТУ, - № 3, - 2008. - С.169-170.
5. Кенжегалиев А. Влияние инженерно геологических изыскательских (ИГИ) работ на зообентосные организмы моря// Вестник АГТУ, - № 6, - 2008. - С.204-206.
6. Кенжегалиев А., Оразбаев Б.Б., Жумагалиев С.Ж., Кенжегалиева Д.А.Состояние гидробионтов в районе искусственного острова «D» Кашаганского месторождения//Нефть и газ. - № 1, - 2017. - С.77-90
7. A.Kenzhjegaliyev, A.A.Abylgazieva, A.K Shahmanova., D.K. Kulbatyrov State dynamics of zooplankton in the gulf region of Tyub-Karagan Вопросы технических наук: новые подходы в решении актуальных проблем. / Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. г. Казань, - № 4, - 2017. -132 с.
8. Киселев И.А. Методы исследования планктона. В кн. Жизнь пресных вод СССР, М.-Л., изд-во АН СССР, 1956, т. 4, вып. 1, с. 183 – 265.
9. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений, Л., Гидрометеиздат, 1983, с. 78 – 86.
10. Состояние биоразнообразия в Казахстанской части Каспийского моря. Национальный доклад РК, Атырау, - 2000, с. 26 – 36.
11. Методические указания к изучению бентоса южных морей СССР. – М.: ВНИРО, - 1983.-13 с.
12. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоёмов. – М.: Наука. - 1975.- 240 с.
13. Методическое пособие при гидробиологических рыбохозяйственных исследованиях водоёмов Казахстана (планктон, зообентос). Алматы, - 2006.- 27 с.

Кузяков Б.А.

**Влияние МДВ на уровень принимаемого информационного сигнала в
атмосферной оптической телекоммуникационной системе**

*МИРЭА - Московский Технологический Университет
(Россия, Москва)*

doi:10.18411/lj-11-2018-154

idsp: ljjournal-11-2018-154

Аннотация

В статье рассматривается метод моделирования лазерной линии связи для сложных метеоусловий. Атмосферные оптические линии связи (АОЛС) широко используются как независимые линии связи, так и в виде сегментов, наряду с сегментами ВОЛС, в составе комбинированных линий связи (КОТС). Актуальность их применения основывается на очень высоких скоростях передачи информации по оптическим линиям связи (ОЛС), которые недостижимы для радиочастотных линий связи. Некоторым недостатком АОЛС является влияние атмосферы. Приведены зависимости затухания излучения лазерного передатчика от метеорологической дальности видимости (МДВ), в диапазоне 50 – 900 м, для разных длин волн. Показаны преимущества использования излучения с длиной волны 10 мкм, в сравнении с диапазоном ближнего ИК - 1,5 мкм и короче, особенно, для работы при малых МДВ атмосферы.

Ключевые слова: лазерная линия связи; влияние атмосферы; метеорологическая дальность видимости (МДВ); сегменты АОЛС; сегменты ВОЛС; ближнее ИК излучение; дальнее ИК излучение.

Abstract

In the report the method of laser communication line modeling for difficult weather conditions is considered. Atmospheric optical communication lines (AOCS) are widely used both as independent communication lines and as segments, along with fiber optic segments (FOS), as part of combined communication lines (COLS). The relevance of their application is

based on very high speeds of information transmission over optical communication lines (OLS), which are unattainable for radio frequency communication lines. Some drawback of AOCS is the influence of the atmosphere. The dependences of the laser transmitter attenuation on the meteorological visibility range (MVR) in the range of 50 – 900 m for different wavelengths are given. The advantages of using radiation with a wavelength of 10 microns, in comparison with the near IR range of 1.5 microns and shorter, especially for operation at small atmospheric MVR are shown.

Key words: laser communication line; the influence of the atmosphere; meteorological visibility range (MVR); segments AOCS; segments FOS; near IR range; long IR range.

Введение. В наше время, отечественная промышленность выпускает ряд систем АОЛС (полудуплекс и дуплекс) на относительно небольшие дистанции с разной пропускной способностью и надежностью. Среди них высокими параметрами обладают системы «Артолинк» и «БОКС». В Европе и Америке, так же выпускаются ряд систем АОЛС, по их терминологии, системы FreeSpaceOptics (FSO). А США более широкое распространение получили системы FSO, работающие на дистанциях 300 – 800 м. Эти величины получаются из-за действия различных национальных стандартов на системы связи, с учетом атмосферных воздействий. Например, в США, атмосферные явления в северных и южных штатах отличаются весьма существенно. Воздействие атмосферы на АОЛС приводит, в основном, к проявлению нескольких негативных явлений: 1) Затухание сигнала, главным образом в туманах; 2) Некоторое блуждание пучка в пространстве и сцинтилляции при наличии турбулентности. Туманы и турбулентности чаще возникают на сильно пересеченной местности, в областях расположения водоемов, в долинах рек и т.п. [1 - 4]. Вариант схемы линии связи на сложной трассе приведен на рис. 1.

Рис.1. Вариант сложной трассы линии связи (▲ - приемо-передающие модули)

На такой трассе прокладка секции ВОЛС достаточно проблематична, так как имеются крутые холмы, лес и река. По ряду параметров, на такой трассе, прокладка секции АОЛС (прямая линия между двумя опорными мачтами, на рис. 1), имеет неоспоримые преимущества.

Среди законов взаимодействия излучения с частицами атмосферы, основными являются: поглощение, отражение, дифракция, рассеяние. В исследованиях рассеяния излучения с длиной волны λ на частицах атмосферы с диаметром d , выделились 3 основных теоретика: а) Фраунгофер - $d \gg \lambda$; в) Ми - $d \leq \lambda$; с) Рэлей - $d \ll \lambda$. Эти виды рассеяния хорошо изучены и широко представлены в научной литературе. При этом, важно знание конкретной диаграммы направленности (ДН) рассеянного излучения, например, при $d/\lambda = 0,48$, ДН на плоскости в осях $0 - 360^\circ$ имеет вид слегка сжатого эллипса по оси $90^\circ - 270^\circ$.

Теория МИ достаточно адекватно описывает феномены взаимодействия излучения с частицей на всех возможных углах рассеяния. При этом, нужны знания коэффициента преломления и коэффициента адсорбции. Изменения значений параметров менее заметны для больших частиц.

Взаимосвязь интенсивностей излучения. Объемный коэффициент поглощения излучения $\sigma(\text{abs})$ для полидисперсного аэрозоля из сферических частиц с постоянным значением комплексного показателя преломления, входит в формулу закона Бугера–Ламберта–Бэра, связывающего интенсивность излучения, прошедшего через слой толщиной l , содержащий аэрозоль, с интенсивностью падающего излучения, наряду с коэффициентом эффективности рассеяния $\sigma(\text{sca})$, определяемый безразмерным сечением рассеяния. Эти коэффициенты, в сильной мере, зависят от λ .

$$I = I_0 \exp[-(\sigma_{\text{sca}} + \sigma_{\text{abs}})l]. \quad (1)$$

Затухание излучения резко увеличивается, при снижении метеорологической дальности видимости (МДВ), однако его рост на коротких длинах волн значительно выше, чем для более длинноволнового излучения. Нужно отметить, что в настоящее время разработаны высокоэффективные лазерные источники, работающие в разных диапазонах длин волн. В ближнем ИК -диапазоне - лидируют волоконные лазеры. В длинноволновом диапазоне - лазеры на CO_2 . Лазеры на углекислом газе, в основном, работают в диапазоне 10 мкм излучения, они хорошо отработаны промышленностью. Среди них, наибольшей эффективностью обладают CO_2 – лазеры волноводного [5, 6, 8] типа CO_2 –ВЛ (рис. 2). В конструкции CO_2 –ВЛ использовались: газоразрядная трубка из BeO и стержни резонатора из инвара. Среди преимуществ CO_2 –ВЛ, выделяются главные: компактность; высокое качество выходного излучения; высокая надежность; большой ресурс работоспособности.

Рис. 2. Конструкция головки волноводного CO_2 лазера

Таким образом, для разработчиков и пользователей АОЛС имеется целый арсенал лазерных источников излучения [5 - 8]. Однако, на их эффективную работу оказывает влияние МДВ атмосферы. Например, при МДВ, равной 100 м, затухание на длине волны 1,5 мкм составляет 225 дБ/км, в то время как на длине волны 10 мкм, оно составляет 109 дБ/км. (Другие данные приведены на графике, рис. 3).

Рис. 3. Зависимости затухания излучения для различных длин волн от МДВ: 1 - $\lambda = 1,5 \mu\text{м}$; 2 - $\lambda = 10,6 \mu\text{м}$

Краткий анализ графиков, показывает, что: 1) при МДВ, равной 200 м, разница в затухании на длинах волн 1,5 мкм и 10 мкм, превышает 100 дБ/км; 2) При возрастании МДВ, разница в затухании на этих длинах волн – снижается; 3) Однако, даже при МДВ = 500 м, разница в затухании на этих длинах волн, превышает 20 дБ/км; 4) Все графические зависимости на рисунке 4 – существенно нелинейные.

Для более удобного их анализа были проведены аппроксимации 8-ю различными функциями на ПК в пакете ПО “Approximation – online”. Параметры функций с наименьшими ошибками для кривых 1, 3, рисунка 4, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные параметры ** функций аппроксимации

N	A	B	C
2	0,9718	0,9444	10,0343 %
3	0,9969	0,9939	13,0668 %
4	0,9992	0,9984	4,5347 %

** A – коэффициент корреляции; B – коэффициент детерминации; C – средняя ошибка аппроксимации:

N = 2, 4 – для кривой 1, рисунок 4; N = 3 – для кривой 3, рисунок 4. N=2–степенная регрессия: $Y_2 = 3412,0228X^{-1,1631}$ (2)

N = 3 – гиперболическая регрессия: $Y_3 = -7,7483 + 1268,0754/X$ (3)

N = 4–кубическая регрессия: $Y_4 = -0,0008 X^3 + 0,16 X^2 - 11,58 X + 298,48$. (4)

Весьма приемлемыми можно считать функции аппроксимации 2 и 3 со средними ошибками ~ 10 %. Наилучшее приближение, со средней ошибкой ~ 4,5 %, получено для кривой 1, рис. 4, с использованием кубической регрессии (4). Приведенные функции 2 – 4, могут быть использованы для определения затухания в линиях связи в 2-х спектральных диапазонах – 1,55 мкм и 10,6 мкм, для любых значений МДВ атмосферы в обширном диапазоне МДВ - 100 – 900 м.

Заключение

1) По ряду параметров, на сложных трассах, прокладка секции АОЛС имеет неоспоримые преимущества.

2) В АОЛС затухание излучения увеличивается, при снижении МДВ.

3) При МДВ, равной 100 м, разница в затухании на длинах волн 1,5 мкм и 10 мкм, превышает 110 дБ/км.

4) Комбинация лазеров с длинами волн 10 мкм и 1,5 мкм ведет к повышению надежности оптической линии связи.

1. Wainright E., Refai H.H., Sluss Jr.J.J. Wavelength diversity in free-space optics to alleviate fog effects. // Proc. of the SPIE. – 2005, V. 5712, - p. 110-118.
2. Achour M. Free-space optics wavelength selection: 10 μm versus shorter wavelengths // Journ. of Optical Networking. – 2003, V. 2, Is. 6, p. 127-143.
3. Кузяков Б.А. Перспективные волноведущие структуры для информационных систем на основе эффективной передачи лазерного излучения в среднем ИК диапазоне.// INTERMATIC – 2009, Материалы, Москва-2009, в 4 частях, ч. 4, с. 265-267.
4. Береснев С.А., Грязин В.И. Физика атмосферных аэрозолей // Курс лекций. – Екатеринбург. – 2008, Изд-во Уральского университета, 268 с.
5. Кузяков Б.А. Измерение населённости верхнего лазерного уровня молекулы CO₂ и коэффициента усиления активной среды в волноводном разрядном канале // Квантовая электроника, 1979, т. 6, № 1, с. 114-119.
6. Григорьянц В.В., Кузяков Б.А., Сеницын А.М. Коэффициент усиления волноводного CO₂ – лазера//Квантовая электроника, 1980, т. 4, № 7, с.1482-1487.
7. Turán J., Ovseník L. Experimental FSO network availability estimation using interactive fog condition monitoring. // Proceedings, - 2016, Volume 10142, 20th Slovak-Czech-Polish Optical Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, p. 112-116.
8. Кузяков Б.А. Развитие концепции применения волноводов в лазерных установках. // Международный форум по проблемам науки, техники и образования. М., Академия наук о Земле. - 2004, Труды в 2-х т., т. 2, с. 128- 129.