

Определение дистанции атмосферного канала связи с заданным коэффициентом готовности для г. Новосибирска

С.В. Полянский, А.Н. Игнатов

Изложен инженерный подход к определению дистанции атмосферного канала связи с заданным коэффициентом готовности. На основании статистики метеорологической дальности видимости определена интегральная функция распределения километрического затухания для г. Новосибирска. Рассмотрены технические характеристики современной аппаратуры атмосферной оптической связи и рассчитаны дистанции, на которые способна работать данная аппаратура с учётом требований к коэффициенту готовности атмосферного канала в г. Новосибирске. Даны рекомендации по длине атмосферного канала для операторов связи г. Новосибирска.

Ключевые слова: оптическая связь, беспроводная оптическая связь, атмосферная оптическая связь.

1. Введение

История атмосферной оптической связи начинается с 60-х годов прошлого века с изобретением лазера. К настоящему времени, пройдя полувековой путь развития, атмосферная оптическая связь, к сожалению, не получила широкого распространения и внедрения на сетях связи различных операторов.

Причиной этому стало несовершенство оптоэлектронной аппаратуры в середине прошлого века, а в настоящее время, когда выпускаются мощные лазеры, высокочувствительные приёмники, обладающие высоким сроком службы, обнаружилось, что отсутствуют нормативные документы для проектирования таких систем, а компании-производители аппаратуры в целях рекламы рекомендуют завышенные длины атмосферных каналов без привязки к географическому региону, где будет эксплуатироваться система связи.

Такое положение вещей на практике приводит к неудовлетворительному коэффициенту готовности атмосферного канала (АК) связи, что не может устроить широкий круг потребителей, а также дискредитирует системы атмосферных оптических линий передач (АОЛП), препятствуя их широкому внедрению.

Основными преимуществами атмосферных оптических линий передачи, привлекающими потребителя, являются:

- отсутствие необходимости получения разрешения на установку АОЛП;
- отсутствие необходимости проведения проектно-изыскательных работ;
- быстрота установки и подключения системы АОЛП к сети связи. Одна из задач для любого оператора сети доступа – обеспечить доступ пользователей к услугам связи быстрее конкурентов и с меньшими затратами. Атмосферные оптические линии передачи (АОЛП) во многих случаях удовлетворяют данному требованию, например, при строительстве корпора-

тивных и ведомственных сетей, при подключении абонентов к сети Интернет и кабельному телевидению, а также при использовании их в качестве сегментов сотовой сети связи;

- отсутствие помех для других видов связи;
- возможность быстрого построения разветвлённой местной широкополосной сети в условиях плотной городской застройки, причём более дешёвой, чем при прокладке оптического кабеля;
- простота наращивания сети и изменения ее структуры;
- отсутствие требований лицензирования на использование инфракрасного спектра;
- отсутствие дисперсионных свойств у среды распространения практически снимает ограничения по скорости передачи информации. В перспективе использование АОЛП на скорости 160 Гбит/с и выше.

В данной работе рассматривается методика определения дистанции атмосферного канала связи с заданным коэффициентом готовности, определена интегральная функция распределения километрического затухания для г.Новосибирска, приведены технические характеристики зарубежных и отечественных систем беспроводной оптической связи, проведен инженерный расчёт дистанции связи при использовании современной аппаратуры в г.Новосибирске для различных требований к коэффициенту готовности атмосферного канала.

В России наиболее широко распространена аппаратура организации атмосферной оптической связи следующих производителей [1]:

- «Оптические ТелеСистемы» (ОТС), торговая марка «БОКС» (Беспроводные Оптические Каналы Связи);
- «Мостком», представляющая продукцию ГРПЗ, торговая марка «МОСТ» (Многоцелевые Оптические Системы для Телекоммуникаций);
- MicroMax (США), продвигающая системы PAV Data Systems (Англия).

К основным потребителям аппаратуры АОЛП в России и за рубежом относятся:

- корпорации и ведомства, организующие корпоративные и ведомственные сети или сегменты сетей (в России примерно 20 %, за рубежом от 65 до 85 % от общего числа потребителей);
- интернет-провайдеры, использующие АОЛП для «последней мили» и подключения абонентов к серверу (в России около 35 %);
- операторы сотовой связи – для организации связи базовых станций с центрами обработки данных;
- операторы фиксированной связи между АТС с целью увеличения номерной ёмкости;
- системы-интеграторы для объединения локальных сетей (в России примерно 45 %).

Структура потребительского рынка аппаратуры АОЛС в России представлена в соответствии с рис. 1.

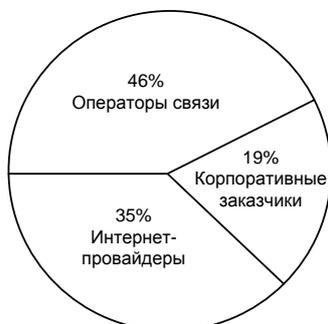


Рис. 1. Структура потребительского рынка аппаратуры АОЛС в России

По скромным подсчётам, на территории г. Новосибирска насчитывается более 20 крупных и мелких операторов связи. Результаты, полученные в данной работе, помогут способствовать внедрению аппаратуры беспроводной оптической связи на местных широкополосных сетях доступа.

2. Постановка задачи

Проектирование систем АОЛП требует учёта климатических особенностей географического региона (ГР), где будет проходить трасса АК связи. Необходимо выполнить согласование интегральной функции распределения километрического затухания (ИФР-КЗ) инфракрасного (ИК) излучения в атмосфере данного географического региона (ГР) с энергетическим ресурсом использованной аппаратуры АОЛП для определения протяжённости атмосферного канала с требуемым коэффициентом готовности.

Энергетические характеристики аппаратуры АОС являются паспортными данными изделия и сообщаются изготовителем. Определение ИФР-КЗ ГР – сложная задача, для решения которой требуется усреднение экспериментальных данных по метеорологической дальности видимости (МДВ, $S_{МДВ}$) в определённом ГР. Экспериментальные данные по МДВ ГР должны охватывать длительный период времени (минимум 3–5 лет).

Без положительного разрешения вопроса определения ИФР-КЗ ГР ни о каком широком внедрении АОЛП не может быть и речи.

На основании статистики метеорологической дальности видимости, предоставленной городским аэропортом г. Новосибирска, необходимо:

- 1) определить интегральную функцию распределения километрического затухания для г.Новосибирска для длин волн, на которых работает современная аппаратура атмосферной оптической связи;
- 2) рассмотреть технические характеристики современной аппаратуры атмосферной оптической связи и рассчитать дистанцию, на которой способна работать данная аппаратура с учётом требований к коэффициенту готовности атмосферного канала в г. Новосибирске;
- 3) привести рекомендации по длине атмосферного канала для операторов связи г. Новосибирска.

3. Метод решения

На рис. 2 приведён ход лучей от передатчика до приёмника в системе АОЛС. Принята следующая система обозначений: $L_{АК}$ – протяжённость атмосферного канала связи, $\phi_{РАСХ}$ – угол расходимости лазерного излучения, $d_{ПРИЕМ}$ – диаметр линзы приёмного устройства.

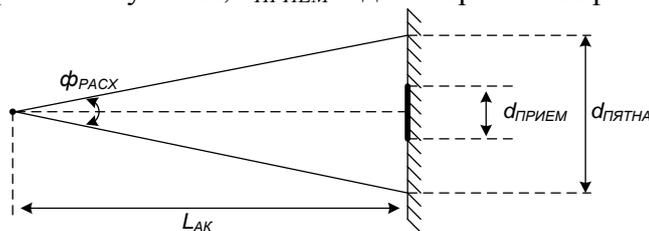


Рис. 2. Ход лучей от передатчика до приёмника в системе атмосферной оптической связи

При прохождении через атмосферу оптический сигнал ослабевает по мощности из-за рассеивания и поглощения света атмосферой на величину P_1 , дБ:

$$P_1 = \gamma \cdot L_{АК}, \quad (1)$$

где γ – величина километрического затухания оптического сигнала в атмосфере, величина переменная. Выбор величины километрического затухания на трассе необходимо осуществлять по интегральной функции распределения километрического затухания географического региона, где будет эксплуатироваться проектируемая система атмосферной оптической линии передачи с учётом требуемого оператором коэффициента готовности $K_Г$ и рабочей

длины волны λ . Детально этот вопрос будет рассмотрен ниже. Таким образом, справедлива зависимость:

$$\gamma = f(K_{\Gamma}, \lambda) = \gamma_{K_{\Gamma}, \lambda}. \quad (2)$$

Анализируя рис. 2, можно выделить второй вид потерь, обусловленный расходимостью излучения. На рис. 2 видно, что лишь часть оптической мощности попадает на линзу приёмного устройства. Потери за счёт расходимости (P_2 , дБ) можно определить из следующих соотношений:

$$P_2 = 10Lg \frac{S_{\text{ПЯТНА}}}{S_{\text{ПРИЕМ}}} = 10Lg \left(\frac{\pi d_{\text{ПЯТНА}}^2}{4} \cdot \frac{4}{\pi d_{\text{ПРИЕМ}}^2} \right) = 20Lg \left(\frac{d_{\text{ПЯТНА}}}{d_{\text{ПРИЕМ}}} \right). \quad (3)$$

Диаметр «оптического пятна» ($d_{\text{ПЯТНА}}$) на приёмной стороне может быть получен из простого геометрического соотношения:

$$d_{\text{ПЯТНА}} = L_{\text{АК}} \cdot \varphi_{\text{РАСХ}}. \quad (4)$$

Формула справедлива при величине угла расходимости излучения порядка нескольких *мрад*. Диаметр приёмной линзы сообщается в техническом паспорте оборудования. Из (3) и (4) получаем:

$$P_2 = 20Lg \left(\frac{L_{\text{АК}} \cdot \varphi_{\text{РАСХ}}}{d_{\text{ПРИЕМ}}} \right). \quad (5)$$

Общие энергетические ($P_{\text{ОБЩ}}$) потери на трассе длиной $L_{\text{АК}}$ составляют сумму потерь, обусловленных рассеиванием и поглощением света (P_1), и потерь за счёт расходимости (P_2):

$$P_{\text{ОБЩ}} = P_1 + P_2. \quad (6)$$

Раскрывая каждое слагаемое в (6), получаем следующее соотношение:

$$P_{\text{ОБЩ}} = \gamma_{K_{\Gamma}, \lambda} \cdot L_{\text{АК}} + 20Lg \left(\frac{L_{\text{АК}} \cdot \varphi_{\text{РАСХ}}}{d_{\text{ПРИЕМ}}} \right). \quad (7)$$

Условием доступности системы АОЛС является соотношение (8):

$$P_{\text{ОБЩ}} \leq A, \quad (8)$$

где A – энергетический ресурс аппаратуры АОЛС.

Энергетический ресурс аппаратуры АОЛС определяется как разность между мощностью передатчика (P_S) и чувствительностью приемника (P_R), которые являются паспортными данными аппаратуры:

$$A = P_S - P_R. \quad (9)$$

Если передающая установка состоит из нескольких излучающих лазеров (светодиодов), мощность передатчика определяется как сумма их мощностей. В случае использования однотипных источников излучения P_S определяется:

$$P_S = P_{Si} \cdot N, \quad (10)$$

где N – количество излучателей в передатчике.

Анализируя современную аппаратуру АОЛС, можно сказать, что количество излучателей в передатчике лежит в пределах от 1 до 3.

Из формул (9) и (10) получаем:

$$A = P_{Si} \cdot N - P_R, \quad (11)$$

а условие доступности принимает вид:

$$\gamma_{KГ,\lambda} \cdot L_{AK} + 20Lg \left(\frac{L_{AK} \cdot \varphi_{РАСХ}}{d_{ПРИЕМ}} \right) \leq P_{Si} \cdot N - P_R. \quad (12)$$

Если выполняется соотношение (12), система АОЛС работает. В противном случае наблюдается перерыв связи.

Километрическое затухание оптического излучения в атмосфере γ является переменной величиной и изменяется в широких пределах: от нескольких десятых дБ/км до сотен дБ/км. Зависит от климатических условий региона, где проектируется трасса АОЛС и носит вероятностный характер. Вероятность того, что величина γ не превысит некоторого порогового значения, при котором соотношение (12) не выполняется, можно определить, используя интегральную функцию распределения километрического затухания.

Однако далеко не для всех географических регионов страны определена интегральная функция распределения километрического затухания.

На сегодняшний день интегральная функция распределения километрического затухания (ИФР-КЗ) определена для Московской и Ленинградской областей, что не может способствовать широкому внедрению АОЛС в нашей стране. Специалисты отмечают необходимость формирования базы данных интегральных функций распределения километрического затухания для различных географических регионов нашей страны.

Для определения ИФР-КЗ ГР предлагается использовать статистику по МДВ, полученную с аэропорта, находящегося в данном географическом регионе (ГР).

Статистика метеорологической дальности видимости (МДВ) г.Новосибирска предоставлена городским аэропортом «Толмачёво». В табл. 1 представлены обработанные статистические данные, охватывающие период измерения МДВ за 10 лет.

Таблица 1. Статистика метеорологической дальности видимости

S _{МДВ} , км	<0.1	<0.2	<0.4	<0.6	<0.8	<1	<1.5	<3	<5
Процент времени	0.1	0.2	0.4	0.5	0.7	0.8	1.3	3.5	7.7

Метеорологические данные в аэропортах и на метеостанциях ведутся на длине волны $\lambda = 0.55$ мкм. Актуальным становится вопрос пересчёта статистики МДВ на длине волны $\lambda = 0.55$ мкм (далее ИФР МДВ_{0.55}) в ИФР-КЗ на любой другой длине волны $\lambda \neq 0.55$ мкм.

Как правило, АОЛС в инфракрасном диапазоне в пределах от 0.78 до 1.6 мкм. Наиболее распространены источники с длинами волн 0.785 мкм, 0.83 мкм, 0.85 мкм, 0.98 мкм, 1.06 мкм, 1.55 мкм. Учитывая вышесказанное, целесообразно вести следующий пересчёт:

$$\text{ИФР МДВ}_{0.55} \rightarrow \text{ИФР-КЗ}_{0.78 \div 1.6}.$$

Для определения ИФР-КЗ на основе данных метеослужбы аэропорта необходимо провести пересчёт $S_{МДВ}$ в километрическое затухание γ [дБ/км] в АК на $\lambda = 0.78 \div 1.6$ мкм в соответствии с известной в метеорологии аналитической зависимостью [2]:

$$\gamma(S, \lambda) = \frac{C}{S_{МДВ}} \left[\frac{\lambda / \text{мкм}}{0.55} \right]^{-q(S_{МДВ})}, \quad \left[\frac{\text{дБ}}{\text{км}} \right]. \quad (13)$$

где $C = 13 \text{ дБ} = \text{const}$;

$q(S_{МДВ})$ – показатель степени, являющийся функцией МДВ;

λ – длина волны, на которой определяется величина γ .

Выражение (1) справедливо для $\lambda = 0.55 \div 1.6$ мкм.

Значение показателя степени $q(S_{МДВ})$ исследовались и уточнялись учёными в течение длительного времени. В результате чего можно использовать график $q(S_{МДВ})$, приведённый на рис. 3.

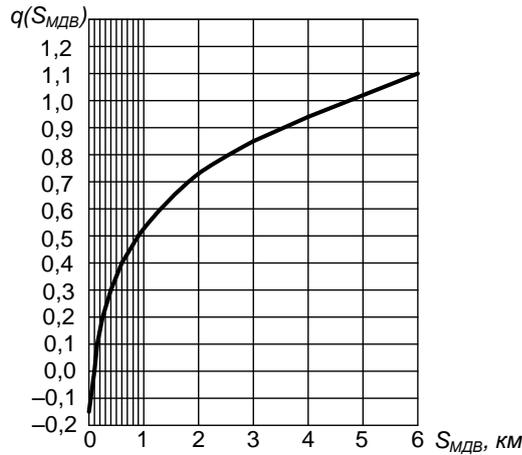


Рис. 3. Зависимость $q = f(S_{МДВ})$

Расчёт ИФР-КЗ для г. Новосибирска можно провести, основываясь на выражении (13), графике, представленном на рис. 3 и данных табл. 1.

В качестве примера расчёта рассмотрим случай: $S_{МДВ} = 0.2$ км, $\lambda = 0.785$ мкм. В соответствии с рис. 3 $q(S_{МДВ}) = 0.129$. Подставляя соответствующие значения величин в выражение (1), получаем:

$$\gamma(0.785; 0.2) = \frac{13}{0.2} \cdot \left[\frac{0.785}{0.55} \right]^{-0.129} = 62.40 \quad \left[\frac{\partial B}{\text{км}} \right].$$

$$\gamma(0.785; 0.4) = \frac{13}{0.4} \cdot \left[\frac{0.785}{0.55} \right]^{-0.3} = 29.25 \quad \left[\frac{\partial B}{\text{км}} \right].$$

Аналогично выполняются расчёты для других длин волн. Результаты проведённых расчётов помещены в табл. 2.

Таблица 2. Расчет ИФР-КЗ_д для г.Новосибирска

	Процент времени/ длина волны, мкм	0.1	0.2	0.4	0.5	0.7	0.8	1.3	3.5	7.7
Затухание, дБ/км	0.785	>125.12	>62.40	>29.25	>18.80	>13.80	>10.84	>6.95	>3.20	>1.81
	0.83	>123.67	>61.75	>28.60	>18.42	>13.49	>10.53	>6.72	>3.03	>1.69
	0.85	>122.91	>61.43	>28.50	>18.20	>13.33	>10.40	>6.61	>2.98	>1.66
	0.91	>121.67	>60.91	>27.97	>17.74	>12.91	>10.11	>6.45	>2.73	>1.54
	0.98	>121.03	>60.45	>27.33	>17.12	>12.51	>9.75	>6.07	>2.65	>1.44
	1.06	>120.07	>59.80	>26.68	>16.69	>12.03	>9.36	>5.77	>2.48	>1.33
	1.55	>119.56	>56.88	>23.82	>14.32	>10.09	>7.67	>4.60	>1.79	>0.91

На основании данных табл. 2, условия (12) и технических характеристик аппаратуры АОЛП, приведённых в приложении П.1, выполним расчёт дистанции связи, на которой способна работать аппаратура в г. Новосибирске с заданным коэффициентом готовности. Результаты расчёта поместим в табл. 3, 4, 5.

Таблица 3. Дистанция атмосферного канала с заданным коэффициентом готовности для г. Новосибирска модельного ряда PAV DATA SYSTEMS (Англия)

Тип интерфейса	Коэффициент готовности K_{Γ} / Дистанция связи (м)		
	$K_{\Gamma} = 0.999$	$K_{\Gamma} = 0.998$	$K_{\Gamma} = 0.997$
1	2	3	4
PAVExpress100	<210	<350	<600
PL-1G/1TX	<340	<610	<1100
PL-100/155/1TX	<310	<550	<1000
PL-100/155/1 TX PD	<250	<420	<750
PL-155/3 TX	<350	<600	<1100
PL-622/1 TX	<350	<630	<1100
PL-622/3 TX	<370	<650	<1200
SC 2E1-2000/L	<250	<420	<750
SC 2E1-4000/L	<350	<600	<1100
SC 4E1-2000	<310	<550	<1000
SC 4E1-2000/L	<250	<420	<750
SC 4E1-4000	<350	<600	<1100
SC4 E1-4000/L	<350	<480	<850
SC E1-2000	<320	<420	<750
SC E1-4000	<350	<480	<870
SN ET-500	<320	<420	<750
SN ET-4000	<350	<600	<1100
SN FET-500	<320	<420	<750
SN FET-2000	<310	<550	<1000
SN FET-4000	<350	<600	<1100

Таблица 4. Дистанция атмосферного канала с заданным коэффициентом готовности для г. Новосибирска модельного ряда «МОСТКОМ» (Россия)

Тип интерфейса	Коэффициент готовности K_{Γ}		
	$K_{\Gamma} = 0.999$	$K_{\Gamma} = 0.998$	$K_{\Gamma} = 0.997$
1	2	3	4
M1 FE-S	<170	<280	<470
M1 GE-S	<180	<290	<480
M1 FE-A	<300	<520	<950
M1 FE-2R	<310	<550	<1000

Таблица 5. Дистанция атмосферного канала с заданным коэффициентом готовности для г. Новосибирска модельного ряда торговой марки БОКС (Россия)

Тип интерфейса	Коэффициент готовности K_{Γ}		
	$K_{\Gamma} = 0.999$	$K_{\Gamma} = 0.998$	$K_{\Gamma} = 0.997$
1	2	3	4
БОКС 100М-АС1	<300	<550	<1000
БОКС 100М-АС2	<500	<900	<1800

Приложение П.1. Технические характеристики современной зарубежной и отечественной аппаратуры атмосферной оптической связи

Таблица 6. Технические параметры модельного ряда PAV DATA SYSTEMS (Англия)

Тип интерфейса	Скорость передачи, Мбит/с	Мощность передатчика, Вт	Чувствительность приемника, дБ	Количество передатчиков	Количество приемников	Расходимость излучения, мрад	Площадь приемника, см ²	Рабочая длина волны, нм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
PAVExpress100	100	0.025	-35	1	1	11	227	910
PL-1G/1TX	1000	0.025	-45	1	1	3	227	810
PL-100/155/1TX	100/155	0.1	-45	1	1	11	227	910
PL-100/155/1 TX PD	100/155	0.1	-35	1	1	11	227	910
PL-155/3 TX	155	0.1	-45	3	1	11	227	910
PL-622/1 TX	622	0.035	-45	1	1	3	227	830
PL-622/3 TX	622	0.025	-45	3	1	3	227	830
SC 2E1-2000/L	4	0.1	-35	1	1	11	227	910
SC 2E1-4000/L	4	0.1	-45	3	1	11	227	910
SC 4E1-2000	8	0.1	-45	1	1	11	227	910
SC 4E1-2000/L	8	0.1	-35	1	1	11	227	910
SC 4E1-4000	8	0.1	-45	3	1	11	227	910
SC 4E1-4000/L	8	0.1	-35	3	1	11	227	910
SC E1-2000	2	0.1	-35	1	1	11	227	910
SC E1-4000	2	0.1	-35	3	1	11	227	910
SN E1-500	10	0.1	-35	1	1	11	227	910
SN E1-4000	10	0.1	-45	3	1	11	227	910
SN FET-500	100	0.1	-35	1	1	11	227	910
SN FET-2000	100	0.1	-45	1	1	11	227	910
SN FET-4000	100	0.1	-45	3	1	11	227	910

Таблица 7. Технические параметры модельного ряда «МОСТКОМ» (Россия)

Тип интерфейса	Скорость передачи, Мбит/с	Мощность передатчика, Вт	Чувствительность приемника, дБ	Количество передатчиков	Количество приемников	Расходимость излучения, мрад	Общая площадь приемника, см ²	Рабочая длина волны, нм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
M1 FE-S	100	0.014	-30	1	1	5	75	785
M1 GE-S	1000	0.005	-27	1	1	2	75	785
M1 FE-A	100	0.02	-30	3	2	0.7	72.5	785
M1 FE-2R	100	0.02	-30	3	2	0.55	72.5	785

Таблица 8. Технические параметры модельного ряда торговой марки БОКС (Россия)

Тип интерфейса	Скорость передачи, Мбит/с	Мощность передатчика, Вт	Чувствительность приемника, дБ	Количество передатчиков	Количество приемников	Расходимость излучения, мрад	Общая площадь приемника, см ²	Рабочая длина волны, нм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
БОКС 100М-АС1	100	0.05	-50	2	1	8	113	785
БОКС 100М-АС2	100	0.15	-65	2	1	3.25	113	785

4. Заключение

В работе рассмотрен инженерный подход к проектированию атмосферных оптических линий передач с заданным коэффициентом готовности. В качестве примера выбран г. Новосибирск. Результаты работы могут быть полезны местным операторам связи при установке аппаратуры атмосферной оптической связи на местных широкополосных сетях доступа с учётом требований к коэффициенту готовности атмосферного канала.

Приведённая методика определения дистанции атмосферного канала носит универсальный характер и может быть использована для других географических регионов нашей страны и за рубежом.

Литература

1. Павлов Н.М. Применение АОЛП в сетях доступа. Часть 2 // Lightwave Russian Edition. 2007. №4. С. 26–29.
2. Павлов Н.М. Что препятствует внедрению АОЛП? // Фотон-экспресс. 2005. №4. С. 45–49.
3. Павлов Н.М. Атмосферные оптические линии связи и их свойства. Часть 1 // Lightwave Russian Edition. 2007. №3. С. 13–15.
4. Павлов Н.М. Коэффициент готовности атмосферного канала АОЛП и методы его определения // Фотон-Экспресс. 2006. №6. Октябрь, спец. вып. С. 78–90.
5. Павлов Н.М., Устинов С.А. Прошлое, настоящее и будущее атмосферных оптических линий передачи // Вестник связи. 2002. №2. С. 56–59.
6. Милютин Е.Р. Атмосферные оптические линии связи в России // Вестник связи. 2008. №2. С. 89–90.
7. Павлов Н.М. Аппаратура атмосферных оптических линий передачи и методы ее классификации // Фотон-Экспресс. 2006. №6. Октябрь, спец. вып. С. 9–13.

Статья поступила в редакцию 04.12.2009

Полянский Станислав Валерьевич

магистрант СибГУТИ (630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86)
тел. 89236401175, e-mail: s.polyanskiy@megafonsib.ru

Игнатов Александр Николаевич

к.т.н., профессор, заведующий кафедрой технической электроники СибГУТИ
(630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86)
тел (383) 2698255, e-mail: te.sibsutis@gmail.com

Defining the distance of atmospheric link with necessary readiness factor for Novosibirsk Stanislav V. Polyanskiy, Alexander N. Ignatov

An engineering method to define the distance of atmospheric link with necessary readiness factor is described. The results are based on statistics of meteorological visibility range for Novosibirsk. Technical characteristics of Free Space Optic (FSO) systems are considered and a table of recommended distance of atmospheric link with necessary readiness factor for Novosibirsk is provided. The results can be useful for communication operators of Novosibirsk.

Keywords: optical communications, free space optic, FSO.