

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ИНТЕГРАЛЬНУЮ ФУНКЦИЮ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ МИНИМАЛЬНОЙ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ В ФЕРГАНСКОМ РЕГИОНЕ

ИБРАИМОВ Рефат Рафикович

кандидат технических наук, доцент

Ташкентский университет информационных технологий

г. Ташкент, Узбекистан

Приводятся результаты исследования влияния изменения климата на интегральную функцию распределения минимальной дальности видимости (МДВ) в Ферганском регионе. Сравниваются данные за различные годы наблюдения и делаются выводы о возможности применения открытых оптических систем передачи FSO (Free Space Optics) в данном регионе.

Ключевые слова. изменение климата, интегральная функция распределения МДВ, аэропорт, открытые оптические системы передачи FSO.

Введение. Применение оптического диапазона, для передачи данных, позволяет организовать широкополосные высокоскоростные каналы связи, актуальные в настоящее время. Современная оптическая связь в основном реализуется в виде оптоволоконных и атмосферных систем. Применение каждой из этих систем зависит от предъявляемых к ним требований, которые возникают при организации каналов связи в условиях современных мегаполисов.

Технология атмосферных систем передачи FSO, которая в дальнейшем здесь рассматривается, использует инфракрасные (ИК) длины волн. Такие системы не уступают по организации широкой полосы передачи оптоволоконным системам, поэтому их называют еще «без волоконной оптикой» или «беспроводной оптической» связью [1; 3; 6; 5].

Отличие FSO от систем радиосвязи состоит в методе построения линейного тракта, включающие в себя среду распространения и технические средства, обеспечивающие формирование, передачу, преобразование и обработку оптических сигналов. Особенностью FSO является их существенная зависимость ослабления волн ИК диапазона от состояния атмосферы. К факторам, оказывающих негативное воздействие на работу подобных систем, относятся флуктуации из-за неоднородностей плотности воздуха и ослабление мощности излучения при рассеивании на

аэрозольных частицах [1; 6].

Расчет потерь излучения ИК диапазона с высокой точностью практически не возможен, так как структура аэрозолей в атмосфере достаточно сложная, возможна только статистическая оценка. Поэтому на практике для этих целей используют статистические данные по метеорологической дальности видимости (МДВ, S_m). Следовательно, основной задачей при проектировании FSO следует считать необходимость определения интегральной функции распределения метеорологической дальности видимости (ИФР_{КЗ}) за какой то, определенный период (можно 3-5 лет). Используя полученные значения, вычисляется средняя доступность канала связи в конкретном районе, в предположении относительной неизменности климата в данном географическом регионе [1; 4-6].

Постановка задачи. Процесс ослабления энергии волн ИК диапазона, при распространении в атмосфере, представляется в виде двух составляющих, постоянной и меняющейся в зависимости от степени прозрачности атмосферы. В свою очередь прозрачность атмосферы определяется метеорологическими условиями в выбранном регионе в текущий момент. Для конкретного региона величина постоянной составляющей, как правило, известна, а величину меняющейся составляющей, зависящей от прозрачности атмосферы, требуется определить. Для раз-

личных климатических регионов, во всем мире, производились и производятся экспериментальные измерения статистических данных по уровню ослабления оптической волны при распространении в атмосфере (приведены в [1; 3-6]).

В процессе проектирования энергетический ресурс, заложенный в выбранной аппаратуре FSO, согласуется с статистическими данными ИФР_{кз} по ослаблению оптических волн при распространении в атмосфере региона, где будет проходить трасса атмосферного канала (АК) и затем определяется коэффициент готовности канала связи (АК_{кГ}).

В последнее время все больше исследований и публикаций про изменения климата на земном шаре и его последствиях, проявляющиеся как аномальная погода. Вырастает температура, что приводит к ускоренному таянию ледников, сокращается объем выпадаемых осадков, повышается уровень моря. Причин изменения климата множество, которые к настоящему времени еще до конца не изучены. Основной причиной считается увеличение количества парниковых газов в атмосфере, которые удерживают тепло у поверхности Земли, тем самым разогревая ее. Возникают они в процессе сжигания ископаемого топлива (нефть, газ), кроме того сокращаются площади лесов, увеличиваются количество свалок, где разлагаются органические отходы. Свой вклад вносит и сельское хозяйство (процесс пищеварения у коров и овец сопровождается выделением метана, применение удобрений для повышения плодородия, приводит к увеличению концентрации оксида азота). По данным Узгидромедцентра температура воздуха в Центральной Азии растёт быстрее, чем в среднем по миру. Поэтому последствия изменения климата проявляется достаточно заметно.

Результаты проведенных ранее расчетов на основе экспериментальных измерений статистических данных по уровню ослабления ИК волны при распространении в различных климатических регионах [1; 3-6], могут не соответствовать современному состоянию атмосферы. Поэтому на основе последних измерений, которые проводятся в круглосуточном режиме на метеостанциях аэропортов [3], следует произвести повтор-

ные расчеты для определения произошедших изменений, с целью использования полученных данных при проектировании FSO.

Решение задачи. Прозрачность атмосферы, как уже отмечалось, непосредственно определяет величину ослабления ИК волн в АК. В свою очередь, для штатного функционирования взлетно-посадочной полосы во всех метеостанциях аэропортов мира, периодически измеряется прозрачность атмосферы. По требованиям ICAO (International Civil Aviation Organization), погрешности измерений не должны превышать более $\pm 5\%$.

Для пересчета измеренных на метеостанциях данных прозрачности атмосферы в метеорологическую дальность видимости МДВ (S_m), используются соотношения Кошмидера [2]. Таким образом, путем набора и обработки статистических данных по МДВ, можно получить ИФР_{кз} для соответствующего географического региона (ГР).

Гидрометеоцентр СССР своим решением (от 1966 г.) климатически районировал Среднеазиатский регион. В соответствии с этим решением территория РУз подразделяется на следующие ГР:

1. Каракалпакистан и Хорезмская область.
2. Бухарская и Навоинская области.
3. Самаркандская, Джизакская, Сырдарьинская и Ташкентские области.
4. Территория Ферганской долины.
5. Кашкадарьинская и Сурхандарьинская области.
6. Город Ташкент.

В перечисленных ГР находятся аэропорты, в которых предусмотрены метеостанциями для измерения и наблюдения за погодными условиями для обеспечения штатного функционирования взлетно-посадочной полосы. Одним из непрерывно наблюдаемых параметров является измерения горизонтальной минимальной дальности видимости (МДВ). Территория аэропорта, как правило имеет достаточную протяженность и поэтому можно утверждать, что условия установившийся на данной территории практически некоторые усредненные для данного ГР.

Статистические данные по МДВ отбирались авторами за 2004-2008 гг. путем случайной выборки с архива гидрометеоцентра

Узбекистана) [2] с метеостанций аэропортов г. Ургенча, г. Бухары, г. Самарканда, г. Карши, г. Ферганы и г. Ташкента, в соответствии с районированием территории РУз. Общее взятое время для обработки данных составило 3 года или 26280 часов. ИСАО рекомендует выбирать значения МДВ в 11 интервалах: 0-0.45; 0.45-0.7; 0.7-1.1; 1.1-1.3; 1.3-1.5; 1.5-2.2; 2.2-3.0; 3.0-3.5; 3.5-4.1; 4.1-7.0; 7.0-10.0. Для проведения практических расчетов, рекомендованные интервалы и ча-

стота выборки соответствуют достаточным требованиям для оценки влияния прозрачности атмосферы на работу FSO. Для полученных значений S_m определяются усредненные вероятности попадания в соответствующий интервал в течение всего года, т. е. получают в виде зависимостей интегральных функций распределения от дальности видимости $L=F(T\%)$ [3]. Результаты таких данных полученных с метеостанции аэропорта г. Фергана и опубликованных в [3] приведены в таблице 1.

Таблица 1

ИФР МДВ ПО г. ФЕРГАНА

	Ф-1984 г	Ф-1985 г	Ф-1986 г	Т-усред.
L(м)	L = F(T%)	L = F(T%)	L = F(T%)	L = F(T%)
10000	0,734	0,686	0,753	0,724
7000	0,793	0,751	0,804	0,783
5000	0,795	0,802	0,852	0,816
4000	0,855	0,847	0,895	0,865
3000	0,896	0,886	0,923	0,902
2500	0,915	0,9	0,933	0,916
2000	0,949	0,926	0,955	0,943
1500	0,971	0,945	0,978	0,965
1300	0,981	0,951	0,984	0,972
900	0,981	0,959	0,988	0,976
850	0,983	0,966	0,991	0,98
800	0,984	0,969	0,991	0,981
700	0,986	0,969	0,993	0,983
600	0,988	0,972	0,995	0,985
500	0,993	0,982	0,997	0,991
450	0,993	0,982	0,997	0,991
400	0,993	0,985	0,998	0,992
250	0,993	0,987	0,999	0,993
200	0,999	0,997	0,999	0,998

Из приведенной таблицы следует, что безотказная работа FSO канала связи с вероятностью 0,98, возможна при дальности связи не более 200 метров, т. е. для определенных не протяженных каналов.

Изменение климата, которое явно прослеживается в регионах Республики Узбекистан, очевидно, приводит и к изменению статистических данных по МДВ. Для оценки величины этих изменений воспользуемся архивными данными погоды в Фергане за

период с 1.09.2023 по 31.08.2024, полученные с «Метеостанция Фергана, Узбекистан, WMO_ID= =38457, Кодировка: UTF-8. Информация приведена на сайте «Расписание Погоды», rp5.kz» (Архив погоды в Ташкенте. – URL:https://www.hmn.ru/index.php). Измерения проводились ежедневно и круглосуточно каждые 0,5 часа.

В качестве примера в таблице 2 приведены зафиксированные значения МДВ с «Метеостанции «Фергана», соответствующие на-

хождению на заданных интервалах S_m за каждый день января и просуммированные затем за весь месяц.

В таблице 3 приведены полученные за каждый месяц 2024 г. значения МВД, ока-

завшиеся в соответствующих интервалах S_m , просуммированные за год и представленные в виде ИФР МДВ. В таблице 4 для сравнения сведены данные по МДВ за 2004-2008 и 2023-2024 гг. по г. Фергана.

Таблица 2

ДАННЫЕ ПО МДВ ЗА ЯНВАРЬ, ПОЛУЧЕННЫЕ С «МЕТЕОСТАНЦИИ ТАШКЕНТ»

Дни/Лкм	10	9	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1	0.5	Σ
1	2	-	1	5	6	2	-	4	4	-	-	-	-	-	-	24
2	6	2	1	1.5	1	-	2.5	2	2.5	5	0.5	-	-	-	-	24
3	-	-	-	-	2.5	9.5	3	-	2	1	-	6	-	-	-	24
4	-	0.5	2	-	7	2.5	2	1	2	-	3	4	-	-	-	24
5	5.5	0.5	1.5	1.5	3	2	0.5	0.5	2	1.5	3	-	-	-	-	24
6	1.5	2	1	2	6.5	1	1	1	1.5	2	4.5	-	-	-	-	24
7	-	-	-	0.5	2	7	6	0.5	6.5	1.5	-	-	-	-	-	24
8	-	-	-	1.5	5	7.5	2	2	2	-	0.5	0.5	0.5	2.5	-	24
9	-	-	-	-	-	-	-	3	3	1.5	1.5	2.5	8	4	0.5	24
10	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	3	6.5	6.5	3	-	24
11	-	-	-	1.5	5	2	1.5	1.5	-	0.5	5	3	4	-	-	24
12	7.5	3	7	1	2	0.5	6	-	0.5	1.5	-	-	-	-	-	24
13	3.5	0.5	3.5	1.5	3	2.5	3	1.5	1	1.5	2.5	2	-	-	-	24
14	3	-	1.5	0.5	6.5	1	2.5	2	-	2.5	1	2	0.5	0.5	-	24
15	0.5	0.5	1.5	4	6	-	-	-	4	-	3.5	2	-	2	-	24
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.5	-	3.5	5.5	8.5	-	24
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	5.5	9.5	5.5	2.5	-	24
18	-	-	-	-	-	-	-	-	4	6	2	12	-	-	-	24
19	1.5	-	-	-	-	-	-	-	3.5	6.5	7	3.5	-	-	-	24
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	6.5	4	3.5	5	1	24
21	-	-	-	-	-	-	-	-	2	9	2	3	5	-	3	24
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	9	5	5	-	-	24
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	9	6	3	-	24
24	-	1.5	1.5	1	2	-	-	2	-	6.5	-	4.5	-	5	-	24
25	2	-	-	3.5	4.5	9	-	-	-	4	-	1	-	-	-	24
26	11.5	1	1	3.5	1	1	-	2	-	-	3	-	-	-	-	24
27	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3.5	7.5	2	4	4	-	24
28	-	0.5	1.5	3.5	2	4.5	-	3	-	2.5	-	2.5	-	4	-	24
29	12.5	-	1.5	6	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24
30	20	2.5	1	-	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24
31	33	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24
Σ	104.5	14.5	27.5	38	70.5	58	30	23	38.5	84	65	90	56	40	4.5	744

Таблица 3

**ЗНАЧЕНИЯ МДВ ЗА КАЖДЫЙ МЕСЯЦ 2024,
ПРОСУММИРОВАННЫЕ ЗА ГОД И ПРЕОБРАЗОВАННЫЕ В ИФ**

L/мес.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Σ	T%	L=F(T%)
10000	104,5	174,5	528,5	701	716	718,5	742	744	720	546,5	303,5	164	6163	0,701	0,701
9000	14,5	30,5	28,5	8	3,5	0,5	1	-	-	51,5	53	23	214	0,024	0,725
8000	27,5	60,5	55	3,5	6,5	0,5	0,5	-	-	57	59,5	25	295,5	0,034	0,759
7000	38	53,5	29	2,5	3	-	-	-	-	30	53	46	255	0,029	0,788
6000	70,5	71	33	2	3	-	0,5	-	-	35	119,5	55	389,5	0,044	0,832
5000	58	62	20	1,5	0,5	-	-	-	-	22	44,5	62,5	271	0,031	0,863
4500	30	30	5,5	0,5	5	-	-	-	-	1,5	9,5	29,5	111,5	0,012	0,875
4000	23	34	9	0,5	2	-	-	-	-	-	24	42,5	135	0,015	0,890
3500	38,5	32	12,5	0,5	1,5	-	-	-	-	-	23,5	31,5	140	0,016	0,906
3000	84	42,5	6	-	2	-	-	-	-	-	25,5	35	195	0,022	0,928
2500	65	39,5	7	-	0,5	-	-	-	-	-	2	28	142	0,016	0,944
2000	90	34	4,5	-	0,5	-	-	-	-	-	2,5	51,5	183	0,021	0,965
1500	56	18	1,5	-	-	-	-	-	-	0,5	-	38	114	0,013	0,978
1000	40	9,5	0,5	-	-	0,5	-	-	-	-	-	33,5	84	0,011	0,989
500	4,5	4,5	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	79	91,5	0,011	1
Σ	744	696	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8784	Σ1	

Таблица 4

СВОДНЫЕ ДАННЫЕ ПО МДВ г. ФЕРГАНА

	T (2004-2008) усред.	T(2023/2024) усред.
L(м)	L=F(T%)	L=F(T%)
10000	0,724	0,701
9000	-	0,725
8000	-	0,759
7000	0,783	0,788
6000	-	0,832
5000	0,816	0,863
4500	-	0,875
4000	0,865	0,890
3500	-	0,906
3000	0,902	0,928
2500	0,916	0,944
2000	0,943	0,965
1500	0,965	0,978
1300	0,072	-
1000		0,989
900	0,976	-
850	0,980	-
800	0,981	-
700	0,983	-

600	0,985	-
500	0,990	1,000
450	0,991	-
400	0,992	-
250	0,993	-
200	0,998	-

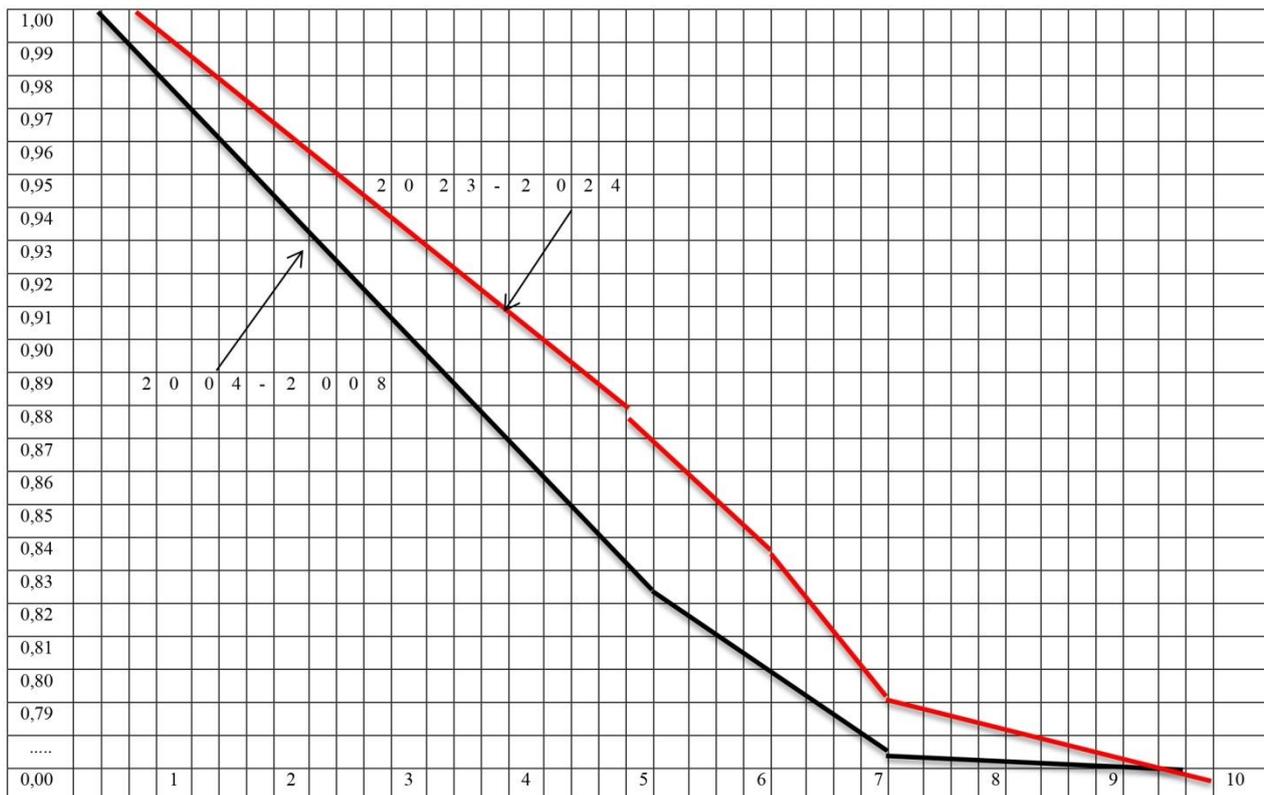


Рисунок 1. Диаграмма интегральных функций распределения МДВ в г. Фергана

На рисунке 1, в соответствии с таблицей 4, приведены диаграммы интегральных функций распределения МДВ в г. Фергана. Как видно на рисунке 1, изменение климата в регионе повлияло и на интегральную функцию распределения МДВ. Минимальная дальность видимости с вероятностью 0,98, увеличилась в два раза с 600 м. до 1200 м.

Заключение. В публикациях, посвященных изменению климата, указываются в основном негативные последствия этого явления, их действительно достаточно много, однако как показывают проведенные исследования, существу-

ют и положительные проявления. В частности, интегральная функция распределения МДВ за 2023-2024, повторяя изменения кривой за 2004-2008 гг. проходит гораздо выше, что означает более прозрачность атмосферы, чем в предыдущие годы. В результате проведенных исследований следует считать, что в Ферганском регионе применение FSO в телекоммуникационных сетях возможно на более длинных интервалах. В частности в сетях 5G, внедряемых в настоящее время, при организации транспортных каналов **FRONTY AUL**, следует отдавать предпочтение FSO [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зуев В.Е. Прозрачность атмосферы для видимых и инфракрасных лучей. – М.: Сов. радио, 1966. – 316 с.
2. Ибраимов Р.Р., Насыров Т.А. Законы распределения метеорологической дальности ви-

- димости и километрического затухания атмосферного канала в Ташкентском регионе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2013. – № 10(57). – С. 34-41.
3. *Ибраимов Р.Р., Насыров Т.А.* Проблемы внедрения открытых оптических систем передачи в телекоммуникационные сети Республики Узбекистан // Инфокоммуникации: Сети-Технологии – Решения. – № 1(21). – 2012.
4. *Ибраимов Р.Р., Халбаева М.З.* Интегральная функция распределения километрического затухания атмосферного канала связи в Самаркандском регионе // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. – № 2(25). – 2014.
5. *Ибраимов Р.Р., Халбаева М.З.* Обработка в среде MATLAB эмпирических данных по метеорологической видимости для Бухарского региона // ФОТОН-ЭКСПРЕСС. – 2015. – № 8(128). – С. 26-29.
6. *Милютин Е.Р., Гумбинас А.Ю.* Статистическая теория атмосферного канала оптических информационных систем. – М.: Радио и связь, 2002. – 253 с.
7. *Ibraimov R., Sultonova M.* 5G TRANSIT CONNECTIONS. COMPUSOFT // An International Journal of Advanced Computer Technology. № 8(5), May-2019 (Volume-VIII, Issue-V). P. 3103-3111.