

## **ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ПРОЗРАЧНОСТЬ АТМОСФЕРЫ В КАРШИНСКОМ РЕГИОНЕ**

**ИБРАИМОВ Рефат Рафикович**

кандидат технических наук, доцент

Ташкентский университет информационных технологий

г. Ташкент, Узбекистан

Рассматривается влияние климатических изменений на оптические свойства атмосферы Каршинского региона Узбекистана. Сравнивая статистические данные по метеорологической дальности видимости (МДВ) за два временных периода (2006–2008 и 2021–2024 гг.) установлено, что в регионе наблюдается устойчивая тенденция к повышению прозрачности атмосферы, что выражается в увеличении средней дальности видимости.

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

В условиях нарастающего влияния изменения климата одной из приоритетных задач становится обеспечение устойчивости и безопасности сообществ перед лицом природных катастроф. Наряду с такими последствиями, как повышение температуры и учащение экстремальных погодных явлений, изменение климата оказывает воздействие и на прозрачность атмосферы, что существенно влияет на распространение электромагнитных волн, включая радиоволны и инфракрасное излучение [1].

В современных телекоммуникационных системах широкое применение находят открытые (атмосферные) оптические линии передачи FSO (Free Space Optics), использующие инфракрасные (ИК) диапазоны волн для организации широкополосных и высокоскоростных каналов связи. Однако эффективность работы таких систем во многом зависит от прозрачности атмосферы. Изменения

в оптических свойствах атмосферы могут приводить к снижению дальности, ухудшению качества передачи сигнала и увеличению потерь [5].

В связи с этим возникает необходимость в оценке изменений прозрачности атмосферы, произошедших в последние десятилетия, особенно в уязвимых к климатическим изменениям регионах, таких как Каршинский регион Узбекистана.

**Постановка задачи.** В системах оптической беспроводной связи FSO инфракрасные (ИК) волны распространяются в атмосфере, где подвержены ослаблению. Данный процесс включает две основные составляющие: постоянную, обусловленную особенностями региона, и переменную, зависящую от текущей прозрачности атмосферы. Последняя определяется метеорологическими условиями, включая наличие аэрозолей и других факторов, влияющих на рассеяние и поглощение оптического сигнала.

Постоянная составляющая, как правило, является известной величиной для конкретного региона. В то время как переменная составляющая требует определения, поскольку характеризуется высокой изменчивостью, связанной с погодными условиями и концентрацией аэрозольных частиц. Таким образом, одной из ключевых задач при проектировании FSO-систем является определение интегральной функции распределения километрического затухания (ИФР<sub>кз</sub>) ИК-излучения [1].

С целью обеспечения надёжности связи, при проектировании FSO-систем значение ИФР<sub>кз</sub> сопоставляется с энергетическим потенциалом аппаратуры. Далее, используя статистические данные по ослаблению оптических волн в атмосфере конкретного региона, через который проходит трасса атмосферного канала (АК), рассчитывается коэффициент готовности канала связи (АК<sub>кг</sub>) [1; 2].

Во всём мире для различных климатических условий проводились экспериментальные исследования и сбор статистических данных по ослаблению оптических волн при распространении в атмосфере [1–3]. Эти данные легли в основу моделей, применяемых при разработке FSO-систем.

В последние годы отмечается рост интереса к вопросам изменения климата, сопровождающегося учащением экстремальных погодных явлений. Согласно данным Узгидрометцентра, в странах Центральной Азии наблюдается более высокие темпы роста средней температуры воздуха по сравнению с глобальными показателями. Такие климатические изменения могут представлять серьёзную угрозу для экологической устойчивости и социально-экономических систем региона.

В ответ на растущие климатические риски, в 2024 году Организация Объединённых Наций при поддержке правительства Японии инициировала региональный проект «Повышение устойчивости городов к риску бедствий и изменению климата в Центральной Азии», штаб-квартира которого расположена в г. Ташкент. В рамках данного проекта запланированы, в том числе, исследования, направленные на переоценку статистических характеристик ослабления оптических волн при распространении в атмосфере Каршинского климатического региона. Полученные данные послужат основой для уточнения параметров ИФР<sub>кз</sub> и повышения точности проектирования современных FSO-систем.

**Решение задачи.** Ослабление инфракрасных волн в атмосфере зависит от её прозрачности. Прозрачность атмосферы измеряется на всех метеостанциях аэропортов мира, так как эти данные необходимы для обеспечения безопасности работы взлётно-посадочных полос. Согласно рекомендациям Международной организации гражданской авиации (ICAO), погрешность таких измерений не должна превышать 5%.

Используя соотношение Кошмидера, полученные данные о прозрачности можно преобразовать в метеорологическую дальность видимости (МДВ  $S_m$ ) в метрах [4-6]. Далее на основе статистических данных по МДВ  $S_m$  для конкретного географического региона (ГР) можно оценить влияние состояния атмосферы на функционирование систем FSO. Следовательно, для определения ИФР<sub>кз</sub> необходимо набрать и обработать статистические данные по МДВ для соответствующего ГР.

В 1966 году Гидрометцентр СССР разработал климатическое районирование Среднеазиатского региона. Республика Узбекистан была разделена на шесть климатических районов, один из которых – Каршинский регион, включая города Карши и Термез. Во всех климатических зонах Узбекистана расположены аэропорты с метеостанциями, которые регулярно измеряют горизонтальную минимальную дальность видимости. Поскольку аэропорты занимают значительную площадь, результаты измерений можно считать усреднёнными для данного региона.

Автор выбрал первичные статистические данные по МДВ за период 2006–2008 гг. из архива Гидрометцентра Узбекистана с метеостанции аэропорта г. Карши, используя метод случайной выборки. Общая продолжительность наблюдений составила 26 280 часов (3 года), что соответствует требованиям ИКАО. Значения МДВ были распределены по 11 интервалам: 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 км. Эти интервалы и частота выборки обеспечивают достоверность оценки практических расчетов МДВ и позволяют оценить влияние прозрачности атмосферы на функционирование FSO. Конечный показатель — средняя метеорологическая дальность видимости ( $S_m$ ) — рассчитывался путем усреднения вероятностей попадания МДВ в указанные интервалы в течение года. Это соответствует интегральной функции распределения от дальности видимости. Обработанные данные представлены в виде зависимости  $L = F(T\%)$  для аэропорта г. Карши.

Современные климатические изменения сопровождаются быстрым ростом температуры воздуха, что влияет на прозрачность атмосферы. Для оценки этого влияния сопоставлены выбранные данные за 2006–2008 гг. с архивными метеонаблюдениями за период с 01.01.2021 по 31.08.2024 гг., полученными с тех же метеостанций (WMO\_ID = 38457). (Сайт «Архив погоды в Ташкенте. <https://www.hmn.ru/index.php>», измерения проводились ежедневно и круглосуточно с интервалом в 30 минут).

Из выбранных данных были отобраны значения времени нахождения МДВ в заданных интервалах  $S_m$  по каждому дню, затем агрегированы в месячные и

годовые показатели. Итоговые усреднённые данные по МДВ за периоды 2006–2008 и 2021–2024 годов представлены в таблице 1. Здесь приведены сводные данные с метеостанций аэропорта г. Карши усреднённые по периодам 2006–2008 и 2021–2024 годов, показано распределение вероятностей превышения дальности видимости  $L$  (в метрах) по годам, а также общие усреднённые значения.

Таблица 1.

Данные по МДВ за 2004-2008 и 2021-2024 годы по г. Карши

Годы			2006 – 2008 г			2021 – 2024 г		
	К-2006	К-2007	К-2008	усред.	К-2021	К-2022	К=2023/24	усред..
L(m)			L = F(T%)			L = F(T%)		
10000	0,584	0,892	0,704	0,726	0,835	0,823	0,807	0,822
8000	0,661	0,922	0,774	0,785	0,881	0,872	0,807	0,853
6000	0,685	0,927	0,799	0,803	0,909	0,895	0,946	0,917
5000	0,815	0,94	0,903	0,886	0,943	0,930	0,946	0,940
4000	0,821	0,977	0,909	0,902	0,962	0,945	0,946	0,951
3000	0,895	0,98	0,944	0,939	0,975	0,962	0,993	0,977
2500	0,904	0,993	0,945	0,947	0,980	0,966	0,993	0,980
2000	0,957	0,993	0,948	0,966	0,986	0,981	0,993	0,987
1700	0,96	0,998	0,96	0,972	0,989	0,981	0,995	0,988
1500	0,967	0,998	0,965	0,976	0,989	0,985	0,995	0,990
1200	0,968	0,998	0,972	0,979	0,993	0,985	0,995	0,991
1000	0,973	0,999	0,973	0,981	0,993	0,991	0,995	0,993
900	0,974	0,999	0,976	0,983	0,996	0,994	0,996	0,995
800	0,979	0,999	0,982	0,986	0,996	0,994	0,996	0,995
700	0,984	0,999	0,983	0,989	0,996	0,994	0,996	0,995
600	0,986	0,999	0,984	0,989	0,996	0,994	0,996	0,995
200	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Диаграмма интегральных функций распределения МДВ в Каршинском регионе в соответствии с табл.1 приведена на рис 1.

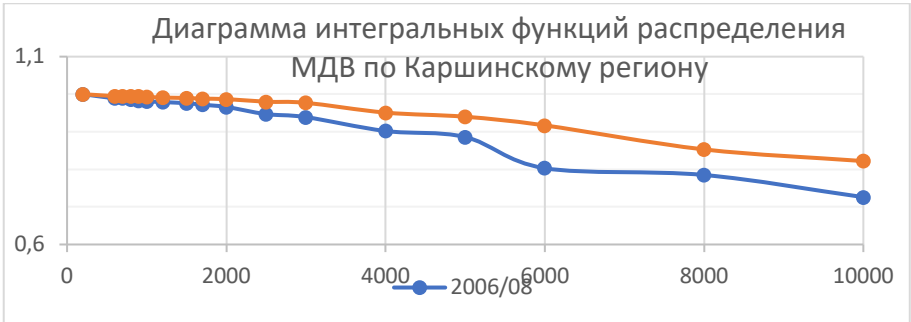


Рисунок 1. Диаграмма ИФР МДВ по Каршинскому региону.

Анализ диаграммы ИФР МДВ, приведенной на рис.1 показывает:

1. В среднем, показатели МДВ за 2021–2024 гг. выше, чем в 2006–2008 гг. по всем интервалам дальности, т. е. в последние годы в Карши наблюдается улучшение условий видимости.

2. Кривая интегрального распределения вероятностей превышения дальности видимости сдвинулась вправо, что также указывает на улучшение погодных условий и увеличение числа случаев с высокой видимостью.

3. В 2006–2008 гг. значения вероятностей превышения дальности видимости стабильно высоки, особенно в диапазонах от 6000 м и выше (наблюдаются почти максимальные значения (более 0,9)), т.е. имеет место высокая и устойчивая прозрачность атмосферы.

**Заключение.** Проведённое исследование позволило установить значимое влияние изменения климата на прозрачность атмосферы в Каршинском регионе, что непосредственно сказывается на функционировании современных телекоммуникационных систем, использующих FSO-системы. Из сравнения статистических данных по МДВ за временные периоды 2006–2008 и 2021–2024 годы, следуют:

1. Наблюдается устойчивое улучшение видимости в атмосфере. Средние значения МДВ в 2021–2024 гг. выше, чем в 2006–2008 гг., во всех диапазонах дальности, т.е. произошло общее улучшение условий прозрачности воздуха.

2. Повышение температуры и изменение погодных условий, фиксируемое в Центральной Азии, повлияло на снижение концентрации аэрозолей и улучшение условий распространения инфракрасных волн.

3. Улучшение показателей прозрачности повышает коэффициент готовности каналов FSO-систем связи и расширяет её технические возможности в условиях Каршинского региона.

Следует подчеркнуть, что надёжность выводов базируются на анализе больших массивах данных, полученных в результате многолетних метеорологических наблюдений с высокой частотой измерений, что повышает достоверность статистических выводов и позволяет использовать результаты в инженерных расчётах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ибраимов Р.Р., Насыров Т.А. Проблемы внедрения открытых систем передачи в телекоммуникационные сети Республики Узбекистан // Инфокоммуникации: Сети – Технологии – Решения. – 2012. – № 1. – С.40–46.
2. Ибраимов Р.Р., Насыров Т.А. К вопросу проектирования открытых оптических систем передачи // Инфокоммуникации: Сети – Технологии – Решения. – 2012. – № 4. – С.18–23.
3. Ибраимов Р.Р., Халбаева М.З. Интегральная функция распределения километрического затухания атмосферного канала связи в Самаркандском регионе // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. – 2014. – № 2. – С.45–53.
4. Ибраимов Р.Р., Насыров Т.А. Законы распределения метеорологической дальности видимости и кило метрического затухания атмосферного канала в Ташкентском регионе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2013. – № 8. – С.34–41.
5. Милютин Е.Р., Гумбинас А.Ю. Статистическая теория атмосферного канала оптических информационных систем. – М.: Радио и связь, 2002. – 253 с.
6. Милютин Е.Р. Расчет параметров атмосферного канала оптических линий связи // Вестник связи. – 2004. – № 2. – С. 20–23.

## THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON ATMOSPHERIC TRANSPARENCY IN THE KARSHY REGION

**IBRAIMOV Refat Rafikovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Tashkent University of Information Technologies

Tashkent, Uzbekistan

The impact of climate change on the optical properties of the atmosphere in the Karshi region of Uzbekistan is examined. A comparison of meteorological visibility

(MV) statistics for two time periods (2006–2008 and 2021–2024) revealed a consistent trend toward increasing atmospheric transparency in the region, reflected in an increase in average visibility.

**Keywords:** Climate change, integral distribution function of the MDV, airport, open optical transmission systems (FSO).