

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

doi: 10.51639/2713-0568\_2021\_1\_2\_12

УДК 621.373.826

ГРНТИ 29.03.45, 29.03.77, 29.31.27, 29.33.47

### Влияние турбулентности на распространение оптических сигналов с длиной волны 1550 нм

<sup>1</sup> Огнев Б. И., <sup>2</sup> Складчиков С. А., <sup>3\*</sup> Чуляева Е. Г.<sup>1</sup> Россия, г. Рязань, АО «МОСТКОМ», [www.orcid.org/0000-0003-3088-2318](http://www.orcid.org/0000-0003-3088-2318)<sup>2</sup> Россия, г. Москва, МГУ им. М. В. Ломоносова, [www.orcid.org/0000-0002-7234-5644](http://www.orcid.org/0000-0002-7234-5644)<sup>3</sup> Россия, г. Рязань, РГРТУ им. В. Ф. Уткина, <https://orcid.org/0000-0002-4459-5857>email: [b\\_ognev@mail.ru](mailto:b_ognev@mail.ru), [skladtchikov@mail.ru](mailto:skladtchikov@mail.ru), \* [elenachuljaeva@yandex.ru](mailto:elenachuljaeva@yandex.ru)

Целью настоящей работы явилось исследование процесса турбулентности вблизи приемной линзы приемо-передающего лазерного модуля (ППМ), входящего в систему атмосферной линии связи, и выявление изменения коэффициента преломления вблизи приемной площадки. Для этого в настоящей работе проведено в программе АНСИС компьютерное моделирование прохождения оптических сигналов вблизи приемных площадок. Показано, что лазерный луч из-за явления турбулентности расщепляется на несколько нитей. Ввиду того, что вблизи приемных площадок устройств приема оптических сигналов в атмосфере, происходит неравномерное распределение коэффициентов преломления воздуха, лазерные пучки вблизи приемных площадок расщепляются. Это повышает требования к приемным площадкам оптических сигналов. В целях борьбы с явлением турбулентности в установках распространения лазерного луча устанавливают несколько лазерных передатчиков и приемников на разных длинах волн. Это повышает скорость передачи информации и повышает надежность работы устройств.

*Ключевые слова:* турбулентность, оптические сигналы, лазерное излучение, траектория луча, расщепление оптического пучка.

### Введение

Вопросам распространения оптического излучения в среде уделяется большое внимание. Влияние атмосферы рассматривается в связи с появлением турбулентности вблизи стенок, либо приемных площадок, например, в работах [1–3]. Турбулентное перемешивание приводит к флуктуациям коэффициента преломления. Это в свою очередь приводит к изменениям направления распространения луча и смещению геометрического центра относительно центра наблюдения. Кроме того, происходит расщепление оптического пучка на отдельные «нити». Происходит перераспределение оптической мощности в сечении, при этом общая мощность остается неизменной.

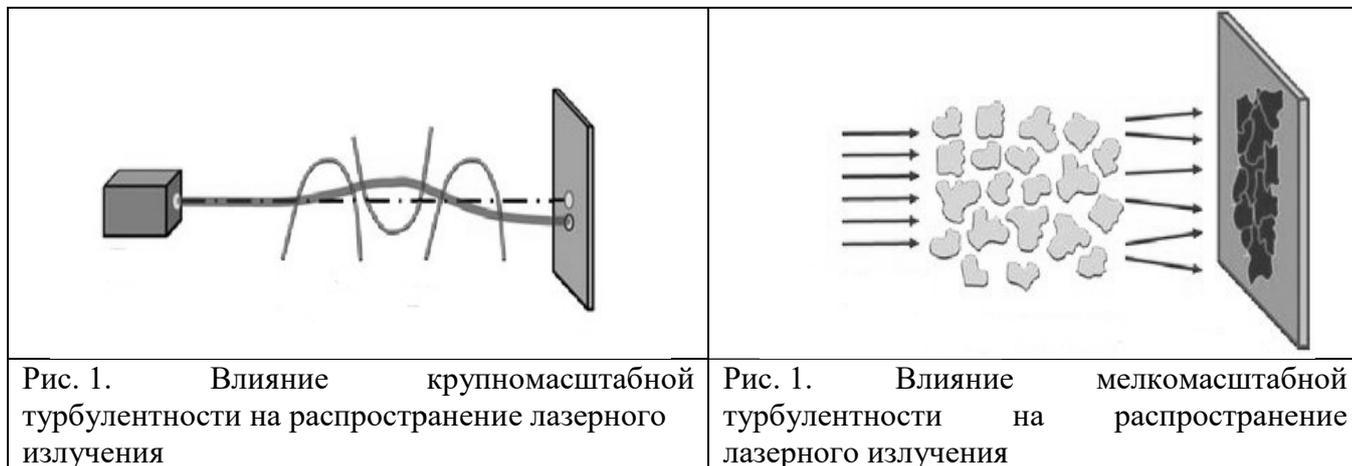
### Экспериментальные исследования

Как показано в работе [1] потери на рассеяние в атмосфере из-за турбулентности незначительны, однако траектория луча претерпевает изменения, при этом повышается расходимость пучка и возникает неоднородность по сечению (рисунок 1).

Приемо-передающий лазерный модуль (ППМ) имеет приемо-передающую оптическую систему, встроенную систему автоматической корректировки оси диаграммы направленности (ОДН), оптический усилитель (ОУ). Характеристики ППМ:

-расходимость передатчика информационного канала – 0,15 мрад;

- моноапертурная оптическая система;
- оптическая система фокусирующего типа;
- базовая длина волны информационного канала – 1550 нм;
- длина волны служебного канала – 785 нм;
- числовая апертура объектива – 0,22;
- угол зрения приемника информационного канала – 0,3 мрад;
- диаметр приемопередающей апертуры – 90 мм;
- качество объектива близко к дифракционному.



Для работы приемо-передающего лазерного модуля используется две длины волны и соответственно реализовано деление на служебный канал (СлК), который выступает в качестве сервисного и отвечает за точное наведение и передачу служебных данных о состоянии удалённого терминала и измерительный информационный канал (ИзК), который используется для прохождения высокочастотных сигналов.

Служебный канал (СлК) работает на длине волны 785 нм. Предназначен для организации работы системы автоматической подстройки осей диаграмм направленности и точного позиционирования терминалов установки друг относительно друга на различных дистанциях. Низкоскоростной канал используется для передачи только служебной информации, которая необходима для работы алгоритмов автоматической подстройки мощности передатчиков на удаленном терминале.

В зависимости от дистанции на которой используется установка, алгоритмы обеспечивают управление сигналом от удаленного маяка, для подстройки ОДН и пространственного совмещения оптических осей СлК и ИзК, передачи информации о состоянии работы ключевых функциональных элементов терминала, параметров, мощности на приёме/передаче, положение штоков приводов системы автоматической настройки ОДН и т. д.

Служебный канал (СлК) имеет более широкие диаграммы направленности для того чтобы упростить процесс наведения. Актуальность использования для служебного канала длины волны 785 нм обусловлено наличием доступных и относительно не дорогих ключевых компонентов: приёмников, передатчиков, высокоскоростных матриц.

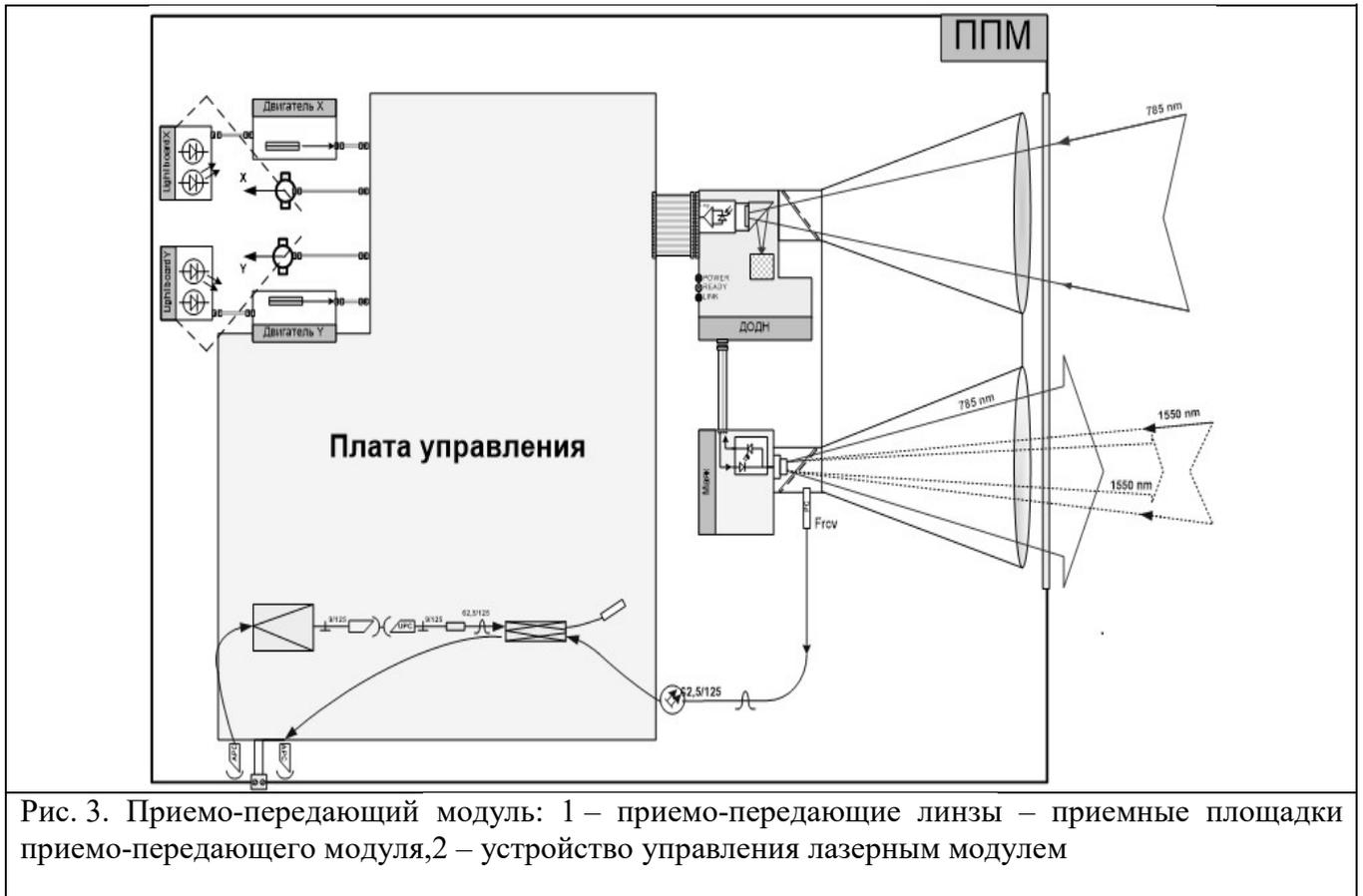
Измерительный (информационный) канал (ИзК) работает на длине волны 1550 нм.

Как видно из рис. 2, основное влияние турбулентность атмосферы будет оказывать вблизи входной –выходной линзы.

Как известно, турбулентность потока газа или жидкости описывается уравнениями Навье–Стокса. Численные решения уравнений Навье–Стокса приводят к нахождению профиля скорости течения газового потока:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \\ \rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\mu}{l} \frac{\partial u}{\partial x} \right), \end{cases} \quad (1)$$

где  $\mu$  – вязкость,  $\rho$  – плотность газа,  $u$  – скорость потока,  $l$  – длина пластины.



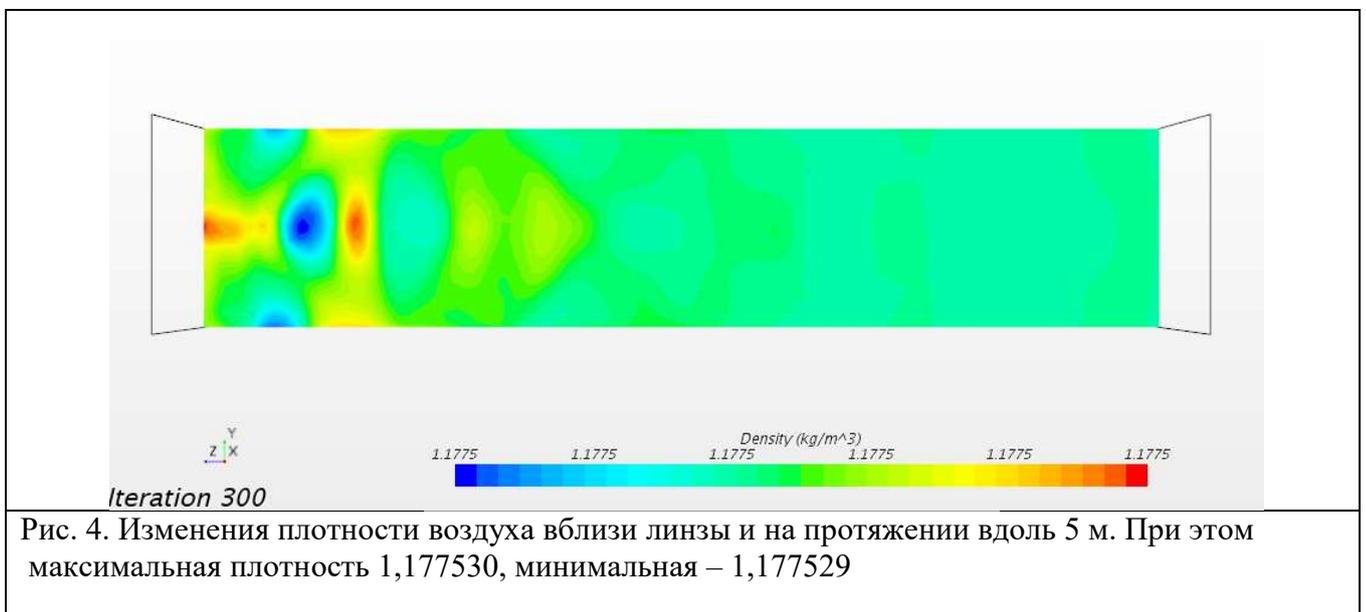
Поскольку мы рассматриваем стационарный процесс в двух координатах  $x$  и  $y$  и учитывая, что  $\rho \frac{\partial u}{\partial t} = 0$ , получим уравнения Стокса в виде

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = \frac{dp}{\mu dx}. \quad (2)$$

Учитывая влияние взаимодействия молекулами газа между собой, приведем уравнение Ван-дер-Ваальса:

$$\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b) = RT. \quad (3)$$

Здесь  $p$  – давление газа,  $a$  – постоянная Ван-дер-Ваальса,  $V_m$  – объем газа,  $b, a$  – постоянные для каждого газа величины, определяемые опытным путем.



Таким образом, изменение плотности по координатам  $x$  и  $y$  будет соответствовать изменению скорости воздушного потока. Решается задача о протекании воздушного потока вдоль пластины прямоугольного сечения. Моделируя в программе ANSYS [4] процесс, получим рисунки распределения поля скоростей и плотностей газа (воздуха) при температуре 300 К (рис. 4, 5). Граничные условия: на выходе справа – давление равно нулю, на входе скорость равна 0,1 м/с пять раз из 50 итераций, т. е. с первой по пятую итерацию скорость равна 0,1 м/с, с шестой по пятидесятую скорость равна нулю, с 51-ой по 55-ую – 0,1 м/с, с 56-ой по 100-ую – нулю и т. д. Условие на стенке означает наличие сдвига (перетаскивания) и отсутствие нормального компонента скорости на границе, как при отсутствии сквозного потока.

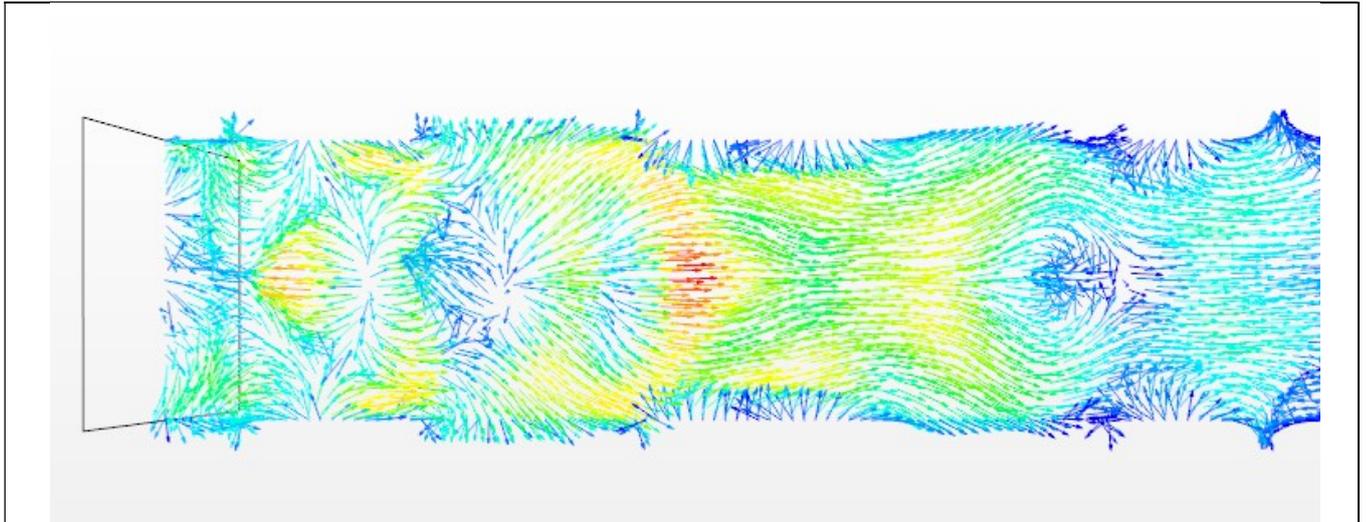


Рис. 5. Распределение скоростей вдоль поверхности линзы при турбулентных искажениях атмосферы. Слева поверхность линзы, вдоль оси  $y$  на расстояниях до 5 м показано распределение скорости воздуха. Вблизи линзы цвета, соответствующие наибольшим неравномерностям скорости (завихрения), а на расстоянии – распределение скоростей выравнивается

## Заключение

Таким образом, на рисунках наблюдаются ярко выраженные неравномерности плотности вблизи поверхности линзы. Эти неравномерности будут способствовать искажению траектории луча. Причем, поскольку в центре линзы наибольшая плотность воздуха, луч будет расщепляться, по крайней мере, на три луча. При этом плотность воздуха меняется от максимальной до минимальной в течение суток.

## Конфликт интересов

Авторы статьи заявляют, что у них нет конфликта интересов по материалам данной статьи с третьими лицами, на момент подачи статьи в редакцию журнала, и им ничего не известно о возможных конфликтах интересов в настоящем со стороны третьих лиц.

## Список литературы

1. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. Аэрооптические эффекты в турбулентном потоке и их моделирование. ЖТФ. 2008. Том 78, вып 2. с. 77.
2. П. Г. Фрик. Турбулентность: модели и подходы. Курс лекций. Пермь. 1999 г.
3. Зуев В. Е. Распространение видимых и инфракрасных волн в атмосфере. М.: Сов. радио, 1970. 496 с. «Течения вязкой жидкости и модели турбулентности: методы расчета турбулентных течений». Федеральное агентство Российской Федерации по образованию, Санкт-Петербургский

государственный политехнический университет, Физико-механический факультет, Кафедра гидроаэродинамики. Санкт–Петербург. 2010. (Конспект лекций).

4. Start Your Free Trial of Ansys Cloud Services. URL: <https://www.ansys.com/products/platform/ansys-cloud/free-trial> (17.05.2021).

### **Turbulence influence to optical signal propagation with wavelength 1550 nm**

Ognev B. I., Skladchikov S. A., Chulyaeva E. G.

<sup>1</sup> *Joint-Stock Company «MOSTCOM», Russia, Ryazan, [www.orcid.org/0000-0003-3088-2318](http://www.orcid.org/0000-0003-3088-2318)*

<sup>2</sup> *Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow, [www.orcid.org/0000-0002-7234-5644](http://www.orcid.org/0000-0002-7234-5644)*

<sup>3</sup> *Ryazan State Radio Engineering University named after V. F. Utkin, Russia, Ryazan, [www.orcid.org/000-0002-4459-3857](http://www.orcid.org/000-0002-4459-3857)*

In this work authors presents computational modeling results of optical signals passage near the receiving sites made in ANSYS program complex. Laser beam is split into several filaments due to the phenomenon of turbulence. Due to the fact that an uneven distribution of air refraction coefficients occurs near the receiving sites of optical signal receiving devices in the atmosphere, laser beams are split near the receiving sites. It means that requirements for the receiving sites of optical signals should be increased. To solve the problem with phenomenon of turbulence, several laser transmitters and receivers at different wavelengths should be installed in laser beam propagation installations. It increases the speed of information transfer and increases the reliability of the devices.

*Keywords:* turbulence, optical signals, laser radiation, beam path, optical beam splitting.