**СОДЕРЖАНИЕ**

[**ВВЕДЕНИЕ 2**](#_Toc523679262)

[**1. ЗАДАЧИ ПРАКТИКИ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ 3**](#_Toc523679263)

[**1.1. Задачи практики 3**](#_Toc523679264)

[**1.2. Исходные данные 3**](#_Toc523679265)

[**2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ 5**](#_Toc523679266)

[**2.1. Модели атмосферных параметров 5**](#_Toc523679267)

[**2.2. Высотные профили коэффициентов молекулярного поглощения и 5**](#_Toc523679268)

[**аэрозольного ослабления 5**](#_Toc523679269)

[**2.3. Влияние метеорологической дальности видимости на аэрозольное ослабление атмосферы. 7**](#_Toc523679270)

[**2.4. Высотные профили скорости ветра 8**](#_Toc523679271)

[**2.5. Модели высотных профилей структурной характеристики показателя преломления. 8**](#_Toc523679272)

[**3. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ С ПОМОЩЬЮ ПО. 10**](#_Toc523679273)

[**3.1. Алгоритм работы с программной средой 10**](#_Toc523679274)

[**3.2. Программа расчета атмосферных параметров для заданной 10**](#_Toc523679275)

[**геометрии трасы распространения (DBProfiles) 10**](#_Toc523679276)

[**3.3. Параметры, определяющие высотный профиль структурной характеристики показателя преломления. 11**](#_Toc523679277)

[**3.4. Параметры, определяющие высотные профили температуры, давления, плотности воздуха, аэрозольного и молекулярного поглощения и аэрозольного рассеяния. 12**](#_Toc523679278)

[**3.5. Программа моделирования распространения лазерного пучка в атмосфере (LaserBeamPropagation) 12**](#_Toc523679279)

[**ЗАКЛЮЧЕНИЕ 16**](#_Toc523679280)

[**СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ 17**](#_Toc523679281)

# ВВЕДЕНИЕ

В качестве места прохождения практики выбрана компания ООО «Люксофт Профешнл».

Luxoft (Люксофт) — международная компания, занимающаяся разработкой программного обеспечения и экспортом ИТ-услуг, в которой работает более 10 000 человек. Luxoft был основан в Москве в [2000 году](https://ru.wikipedia.org/wiki/2000_%D0%B3%D0%BE%D0%B4).

Luxoft предоставляет широкий спектр услуг, связанных с программным обеспечением для различных платформ и технологий. Компания имеет 27 офисов в 15 локациях во всем мире с центрами разработки в Центральной и Восточной Европе, а также Северной Америке и Азии.

Компания является ведущим поставщиком услуг в области разработки программного обеспечения и инновационных ИТ-решений с клиентской базой по всему миру, состоящей главным образом из крупных транснациональных корпораций. Услуги Luxoft по разработке ПО включают в себя создание и поддержку базового и критически важного заказного ПО, проектирование и тестирование продуктов, а также технологический консалтинг.

Обладая глубокими знаниями в таких отраслях как финансы, телекоммуникации, энергетика, автомобильная промышленность, авиация и туризм, компания неизменно превосходит ожидания клиентов за счет исключительного сочетания технологий, профессиональной компетенции, новаторства и высочайших стандартов качества.

Целью практики является моделирование распространения электромагнитного излучения в атмосфере заданных условиях посредством специализированного программного обеспечения.

1. **ЗАДАЧИ ПРАКТИКИ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ**
   1. **Задачи практики**

В качестве технического задания были поставлены следующие задачи:

* рассчитать изменение параметров атмосферы вдоль траектории лазерного пучка для заданной пользователем геометрии распространения;
* моделировать распространение излучения в атмосфере для заданных параметров пучка, геометрии распространения и атмосферных условий, моделируемых с помощью программы.
  1. **Исходные данные**

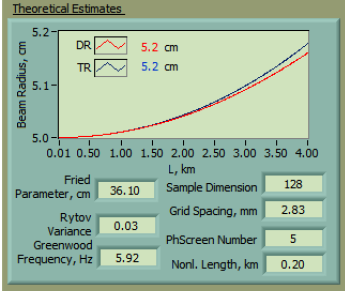
В качестве источника электромагнитного излучения для моделирования взят лазер.

Для моделирования процесса распространения лазерного излучения в атмосфере и получения исходных данных о ней, необходимых для моделирования используется две программы: DBProfiles и LaserBeamPropagation.

Программа DBProfilesсодержит базу данных высотных профилей параметров атмосферы и позволяет рассчитывать изменение параметров атмосферы вдоль траектории лазерного пучка для заданной пользователем геометрии распространения. Пользователем задаются требуемые высотные профили атмосферных параметров, длина волны лазерного излучения, геометрия трассы распространения и число слоев, на которые разбивается трасса при моделировании распространения лазерного пучка.

Программа LaserBeamPropagation позволяет моделировать распространение лазерного излучения в атмосфере для заданных параметров пучка, геометрии распространения и атмосферных условий, моделируемых с помощью программы DBProfiles, либо заданных самим пользователем.

В программе LaserBeamPropagation заложена процедура оценки необходимого числа разбиений трассы распространения на слои для выбранного профиля структурной характеристики показателя преломления  *C*2*n*. Если число PhScreen Number (рис.1) в программе LaserBeamPropagation меньше, чем было задано в DBProfile, то рассчитывается модель среды распространения заново с новым значением параметра PhScreen Number.



Рисунок

1. **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**
   1. **Модели атмосферных параметров**

Основным атмосферным параметром, определяющим характеристики турбулентного фазового экрана являются структурная характеристика флуктуаций показателя преломления воздуха *Cn.*

Характеристики нелинейного фазового экрана определяются такими параметрами атмосферы, как коэффициенты молекулярного и аэрозольного поглощения, коэффициент аэрозольного рассеяния, температура, скорость и направление ветра.

На наклонных трассах параметры атмосферы изменяются вдоль направления распространения, поэтому при моделировании фазовых экранов необходимо использовать базы данных и модели высотных профилей перечисленных выше атмосферных параметров.

* 1. **Высотные профили коэффициентов молекулярного поглощения и**

**аэрозольного ослабления**

Основной состав атмосферы определяется тремя молекулами - азотом, кислородом и аргоном, составляющих 99,96% массы атмосферы. Всех остальные газы составляют всего лишь 0,04% от общей массы атмосферы. На рисунке 2 приведены высотные профили концентрации основных и малых газовых составляющих.

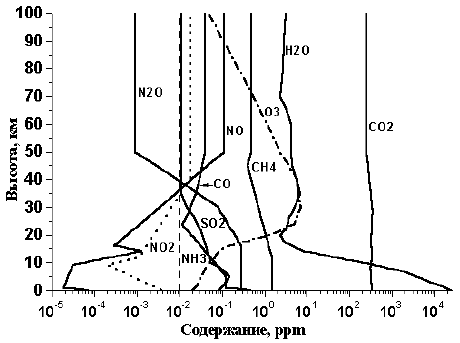
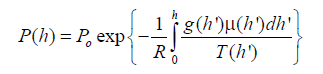


Рисунок . Распределение газовых составляющих атмосферы

Атмосферное давление подчиняются уравнению гидростатики:

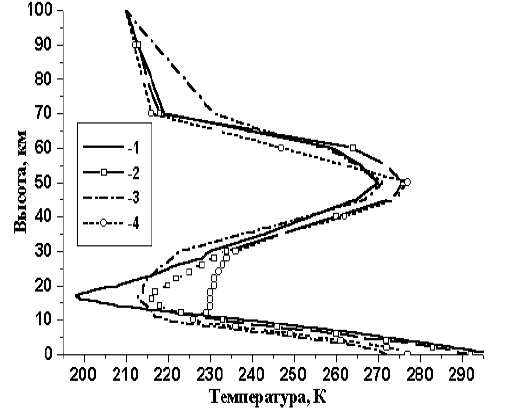
*dP* = −ρ*gdh*

где ρ – плотность газа; *g* = 9,8 м⋅с–2 – ускорение свободного падения. Из этого уравнения и уравнения состояния идеального газа *PV* = *NRT* с учетом соотношения для плотности ρ = μ*N* /*V* (где *N* – число молекул газа с молекулярным весом μ*; T* – температура; *V* – объем; *R* = 8,314⋅103 Дж/(кмоль⋅К)) получим:



здесь *P*0 – давление газа на уровне поверхности.

На рисунке 3 приведен средний профиль температуры атмосферы Земли (0-100 км) для различных сезонов года. Кривая температуры имеет два максимума: первый – на уровне поверхности (где *Т* ∼290°К), второй – на уровне стратопаузы на высоте ∼ 50 км (*Т* ∼270°К).



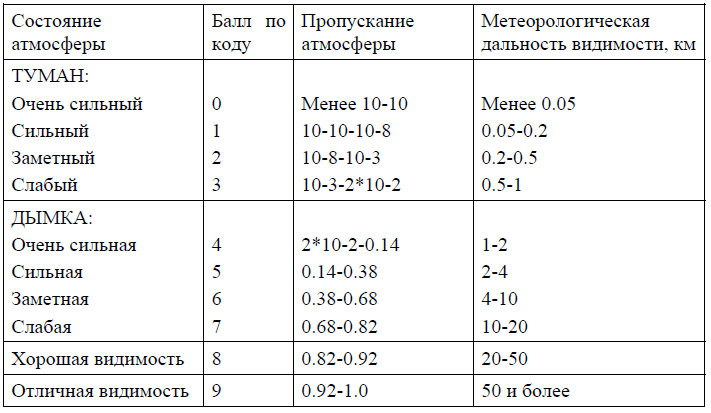
Рисунок

Профили температуры для сезонов года: 1–тропики, 2–лето средних широт, 3–зима средних широт и 4–лето полярных широт.

У поверхности Земли максимум температуры обусловлен поглощением видимого и ИК излучения Солнца самой поверхностью и нижним слоем атмосферы. Второй максимум вызван поглощением озоном солнечного излучения в области длин волн 0.2 ÷ 0.3 мкм. В результате молекула озона диссоциирует. Третий максимум, возникающий в термосфере, обязан процессу фотоионизации газовых компонент верхней атмосферы коротковолновым УФ солнечным излучением, в результате чего происходит разогрев атмосферы на больших высотах.

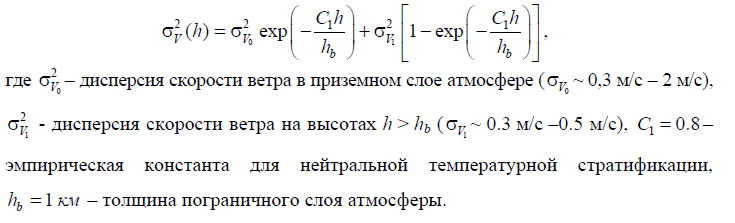
* 1. **Влияние метеорологической дальности видимости на аэрозольное ослабление атмосферы.**

Понятие метеорологической дальности видимости (МДВ) было введено Международной метеорологической конференцией (1929 год), которая вынесла согласованное со всеми странами решение об определении (оценке) МДВ на основной сети гидрометеорологических станций по 10-бальной шкале (см. таблицу).



* 1. **Высотные профили скорости ветра**

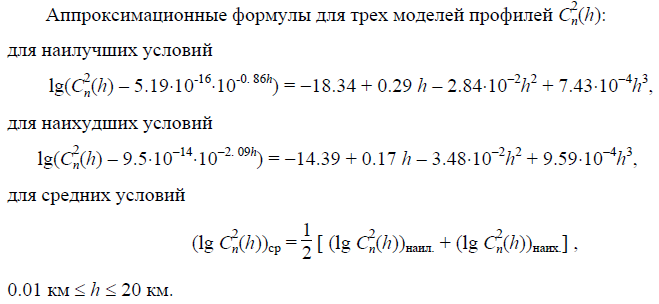
Высотные профили скорости и направления ветра в программе задаются в соответствии с реальными данными Германской службы погоды (ГСП) о глобальном распределении атмосферных параметров за период 19-30 января 1998 г., что позволяет осуществлять моделирование распространения оптического излучения в атмосфере в условиях, максимально приближенных к реальности. Данные ГСП о параметрах атмосферы и в частности, о зональной *Vz*(*zi*) и меридианальной *Vm*(*zi*) компонентах средней скорости ветра [м/с] по всемуземному шару определяются на сетке с пространственным разрешением 1.125° по долготе и 1.121° по широте на 20 высотах от 0 до 30 км. Высотный профиль дисперсии скорости ветра в программе задается следующей моделью



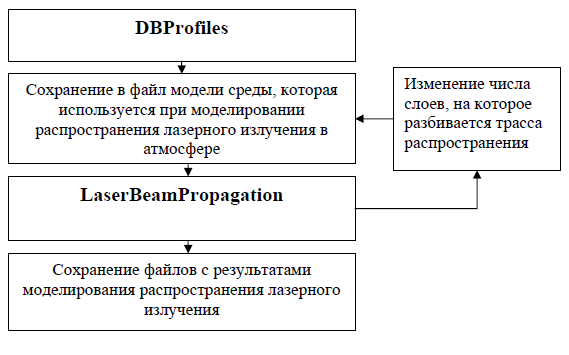
## **2.5. Модели высотных профилей структурной характеристики показателя преломления.**

Влияние атмосферной турбулентности на лазерный пучок при одинаковых метеорологических условиях зависит от геометрии распространения. Наибольшие искажения происходят в приземном слое атмосферы, так как структурная характеристика показателя преломления *Cn*2 принимает максимальное значение у поверхности Земли.

При моделировании распространения лазерного излучения на неоднородных трассах могут использоваться ряд моделей зависимости структурной характеристики показателя преломления от высоты. В программе используется лишь три из них. В моделях предполагается, что высота турбулентной атмосферы составляет 20 км. Модели характеризуют наилучшие, средние и наихудшие условия распространения. Эти модели строились по экспериментальным данным, полученным над сушей с не очень изрезанным рельефом и высотой подстилающей поверхности над уровнем моря, не превышающей 1-2 километра. По этим экспериментальным данным были проведены две огибающие: одна – по наименьшим из наблюдаемых значений *Cn*2 –это наилучшие условия для распространения, другая – по максимальным значениям *Cn*2 – наихудшие условия. Для характеристики средних условий распространения построен третий профиль *Cn*2 как среднее арифметическоепервых двух.



1. **ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ С ПОМОЩЬЮ ПО.**
   1. **Алгоритм работы с программной средой**



## **3.2. Программа расчета атмосферных параметров для заданной**

## **геометрии трасы распространения (DBProfiles)**

Входные параметры объединены в пять групп:

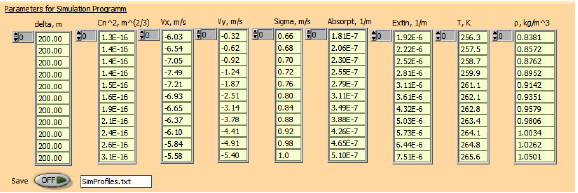
1. Cn^2 Profile – параметры, определяющие высотный профиль структурной характеристики показателя преломления;

2. Wind Height Profile – параметры, определяющие высотный профиль скорости, направления и среднеквадратического отклонения флуктуаций скорости ветра;

3. Atmospheric Model – параметры, определяющие высотный профиль температуры, давления, плотности воздуха, профили аэрозольного и молекулярного поглощения и аэрозольного рассеяния;

4. Propagation Geometry – параметры, определяющие геометрию распространения пучка;

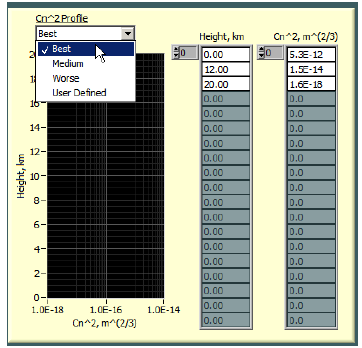
5. Load & Save Front Panel Data – параметры сохранения или загрузки входных параметров в файл на жестком диске компьютера.

Запускаем расчет выходных параметров и сохраняем полученные результаты(рис.4).  


Рисунок

* 1. **Параметры, определяющие высотный профиль структурной характеристики показателя преломления.**

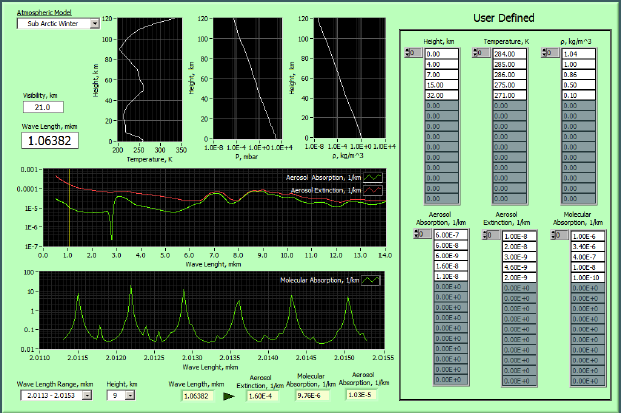
На рисунке 5 представлена группа входных параметров на передней панели программы, с заданными высотными профилями структурной характеристики показателя преломления Cn2 (м−2/3).



Рисунок

* 1. **Параметры, определяющие высотные профили температуры, давления, плотности воздуха, аэрозольного и молекулярного поглощения и аэрозольного рассеяния**.

Задаем средние профили давления, температуры, плотности воздуха, аэрозольного и молекулярного поглощения, и аэрозольного рассеяния для пяти атмосферных моделей (рис.6):

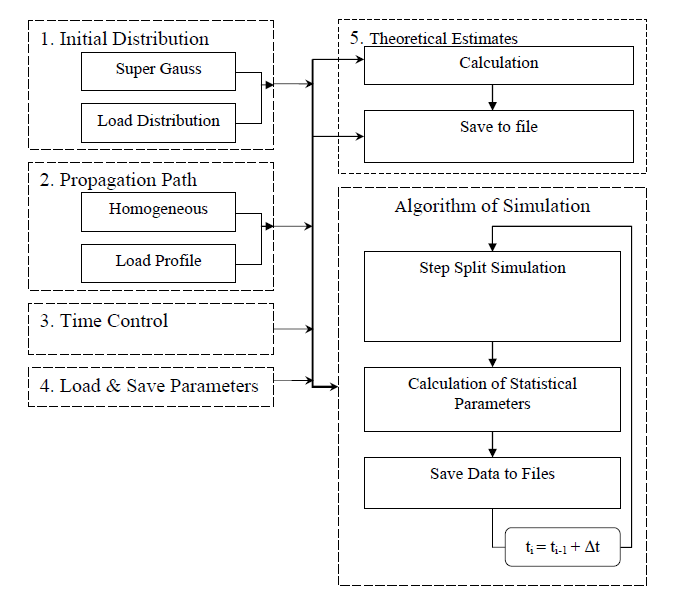


Рисунок

* 1. **Программа моделирования распространения лазерного пучка в атмосфере (LaserBeamPropagation)**

На рисунке 7 изображена схема работы программы LaserBeamPropagation. Для моделирования распространения лазерного пучка в атмосфере необходимо задать параметры начального распределения лазерного пучка.

На следующем шаге задается начальная мощность излучения (**Power, kW**) и параметры дрожания пучка (**J, mrad**) и его качества (**M2**). Затем задается модель трассы распространения. Определение условий распространения вдоль заданной трассы происходит с помощью группы параметров **Propagation Path**.

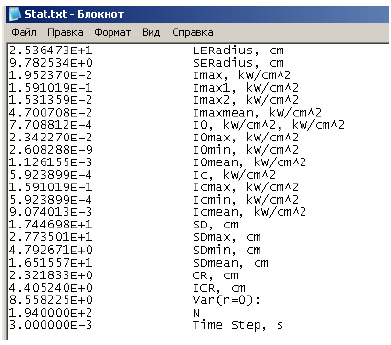


Рисунок

При выборе вкладки **Load Profile** происходит загрузка модели среды из указанного пользователем файла, рассчитанной или заданной с использованием программы **DBProfiles**.

Задаются временные характеристики, для которых будет осуществляться моделирование. Временные соотношения определяются группой параметров **Time Control.**

При необходимости включаются опции сохранения входных параметров и сохранения результатов моделирования. После того, как все параметры и опции будут определены, запускается программа моделирования.

После завершения вычислений создания модели сохраняем результаты(рис.8-10).  


Рисунок

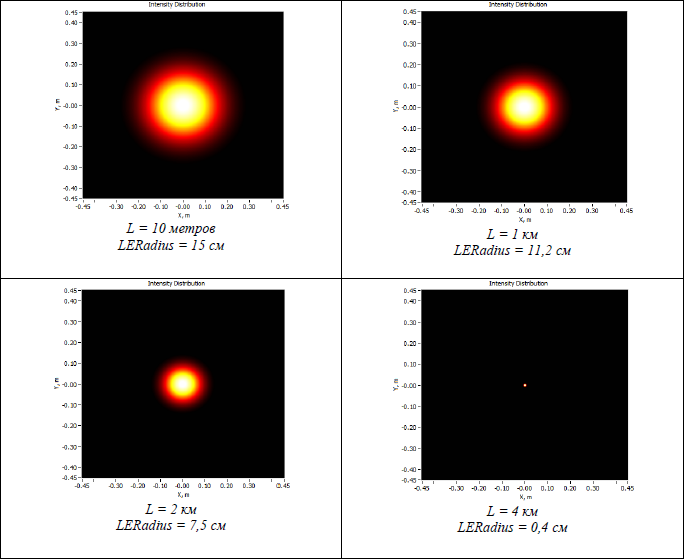


Рисунок Дифракция фокусированного пучка путем моделирования

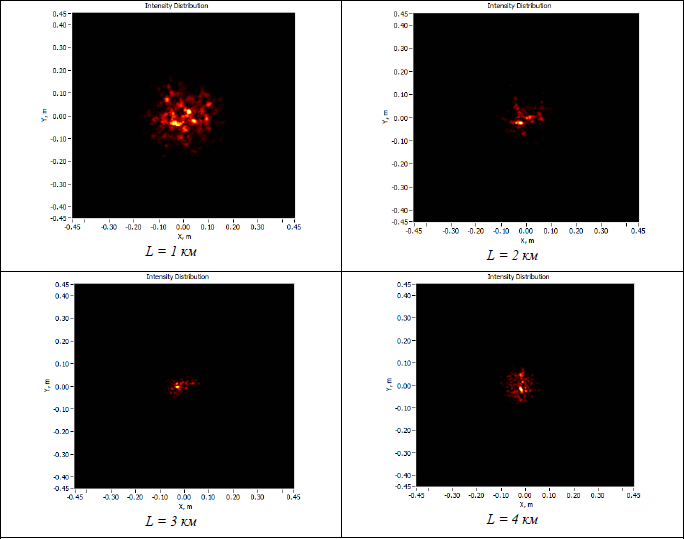


Рисунок Результаты моделирования распространения фокусированного пучка при наличии турбулентности

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате практики была создана модель распространения лазерного излучения в атмосфере в заданных условиях.

На основе результатов моделирования установлено, что влияние атмосферы на распространение лазерного излучения выражается:

− в ослаблении энергии за счет аэрозольного поглощения и рассеяния и молекулярного поглощения атмосферными газами;

− в случайном перераспределении энергии в поперечном сечении пучка за счет случайных фокусировок и дефокусировок волнового поля на турбулентных неоднородностях показателя преломления, что приводит к ухудшению пространственной когерентности излучения, случайным блужданиям пучка, как целого, и возникновению флуктуаций интенсивности;

− в нелинейном взаимодействии лазерного излучения с атмосферными газами и аэрозолем при высоких плотностях энергии, когда преодолеваются энергетические пороги возникновения нелинейных эффектов.

Все задачи практики были выполнены, цели практики достигнуты полностью.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

* Anderson J.G., Clough S.A., Kneyzys F.X., Chetwynd J.H., Shettle E.P. AFGL.Atmospheric constituent profiles (0-120 km) // AFGL-TR-86-0110, 1986. – 92 p.
* Арефьев В.Н. Молекулярное поглощение водяным паром излучения в окне относительной прозрачности атмосферы 8-13 мкм // Оптика атмосферы,1989, Т.2, №10, с.1034-1044.
* Атмосфера. Справочник – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. -670 с.
* ГОСТ 4401-81. Атмосфера стандартная. Параметры.
* Зуев В.Е., Креков Г.М. Оптические модели атмосферы.- Л.:Гидрометеоиздат,1986. -225 с.
* Ипполитов И.И., Комаров В.С., Мицель А.А. Оптико – метеорологическая модель атмосферы для моделирования лидарных измерений и расчета распространения радиации // Сб. Спектроскопические методы зондирования атмосферы - Новосибирск, 985, с.4-14.
* V.P. Kandidov Monte Carlo method in nonlinear statistical optics // Physics-Uspekhi, 1996. V.39. №12. P.1243-1272.
* Кон А.И. О фокусировке света в турбулентной среде // Изв. вузов. Радиофизика. 1970, т.13, №1, с.61-70.
* Smith D.C. High-Power Laser Propagation: Thermal Blooming. Proceedings IEEE,1977, vol.65, №12, p.1679-1714.
* S.M. Rytov, Yu.A. Kravtsov, V.I. Tatarskii. Principles of Statistical Radiophysics.vol. 3, 4. Wave Propagation Through Random Media. Springer-Verlag, 1989.
* Sazanovich V.M., Tsvyk R.Sh. Investigations of displacements of the laser beam energy centers under conditions of thermal blooming // Atmospheric and Oceanic Optics. 1993, vol. 6, No.12, pp.869.