НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА
НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ
Эл № ФС 77 - 48211. Государственная регистрация №0421200025. ISSN 1994-0408
электронный научно-технический журнал

Влияние атмосферы на качество изображения в оптических телескопах

 # 05, май 2012
DOI: 10.7463/0512.0414002
Сычев В. В.
УДК.520

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
viktorsychev@list.ru

Введение

Что же представляет собой атмосфера с точки зрения оптического специалиста? Для химика, например, атмосфера это некая среда, состоящая из совокупности химических компонентов, непрерывно взаимодействующих между собой. Для оптиков это не только химический состав среды распространения излучения, но и характер изменения показателя преломления среды в зависимости от давления, температуры и влажности в каждой точке пространства, через которое проходит излучение. Всякое изменение показателя преломления искажающим образом влияет на проходящее излучение, изменяя оптическую длину его пути и относительную фазу светового колебания, что приводит в итоге к снижению качества изображения, даваемого оптическим устройством.

1. Главные механизмы искажений, вносимых атмосферой

Рассмотрим подробнее некоторые механизмы искажений проходящего через среду (атмосферу) излучения. Это, прежде всего, механизм преломления и фазовой задержки проходящего излучения вследствие неравномерности показателя преломления по объему среды и его изменения от атмосферного давления и

температуры, механизм квантового взаимодействия проходящего излучения с веществом среды, содержащей высоковозбужденные атомы (гиператомы), механизм теплового самовоздействия (самофокусировки) лазерного излучения из-за изменения показателя преломления от нагрева среды этим излучением и др.

Механизм теплового самовоздействия был впервые обнаружен Российским ученым-физиком Г.А. Аскарьяном и достаточно хорошо и полно освещен в специальной литературе по лазерной технике [1, 2]. Суть самофокусировки света (излучения) заключается в концентрации излучения в нелинейной среде вследствие изменения показателя преломления n за счет нелинейного изменения электронной поляризации вещества (эффект Керра), электрострикции, нагрева и др. явлений. В результате этого лучи отклоняются при прохождении через среду в сторону большей интенсивности пучка (большего нагрева, большего n). При определенной мощности пучка, характерной для лазерного излучения, распределение показателя преломления по сечению пучка становится таким, при котором среда распространения становится эквивалентна линзе, вследствие чего происходит концентрация излучения на оси. Далее лучи расходятся и вновь встречают на своем пути атмосферную «линзу» и вновь фокусируются на оси. Это повторяется много раз. С увеличением мощности излучения число таких фокусировок (фокусов) растет. Иллюстрация сказанного представлена на рис. 1.

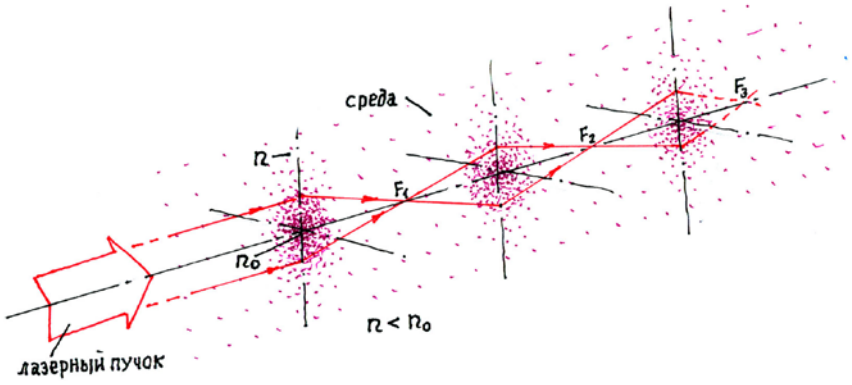

Рис. 1. К вопросу образования атмосферных фокусов

При определенных условиях число фокусов может стать столь большим, что свет уже будет распространяться в осциллирующем световоде, образованном в

нелинейной среде самим световым пучком. С помощью таких световодов можно передавать энергию излучения на большие расстояния. Однако данный механизм теплового самовоздействия излучения имеет значение преимущественно в передающих оптико-электронных системах, в приемных же системах он не имеет непосредственного влияния на процесс формирования изображения, поэтому в рамках данной статьи рассмотрим подробнее только два первых механизма.

Если посмотреть на химический состав атмосферы с точки зрения оптика, то можно заметить, что практически все входящие в нее газообразные элементы имеют показатель преломления близкий к значению 1,0003. Нетрудно видеть, что их влияние будет составлять величину

$$1{,}5 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{D}{L},$$

где D – диаметр апертуры,

L – расстояние от оптической системы до точки пересечения радиуса-вектора индикатрисы излучения искаженного ВФ с оптической осью оптической системы.

То есть, газовая составляющая атмосферы является оптически слабо влияющей на проходящее через нее излучение.

В то же время различные атмосферные примеси, в том числе и газовые (окиси, закиси) могут иметь показатель преломления, значительно отличающийся от единицы. К тому же, вода, например, как компонент влажности атмосферы, имеет показатель преломления равный 1,3. Именно этот компонент атмосферы во многом определяет степень искажения волнового фронта излучения, т.к. он на три порядка выше влияния газовых компонентов атмосферы. Именно через него температура и давление среды вносят значительные фазовые искажения в проходящее излучение. Причем, показатель преломления оптической среды возрастает пропорционально плотности (давлению) и обратно пропорционально температуре среды. В силу неравномерного и нестабильного характера распределения температуры, давления и влажности в атмосфере, искажения проявляются в виде атмосферной рефракции, турбулентности, неравномерного поглощения и рассеяния по полю волнового фронта. Все это ведет к снижению качества изображения, даваемого оптической

системой, т.к. оно (качество) определяется фазовыми соотношениями прошедшего через атмосферу излучения по полю волнового фронта на входе оптической системы.

Неоднородность показателя преломления в атмосфере характеризуется структурной характеристикой C_n^2, зависящей от времени года, суток, атмосферных условий, характера трассы:

$$C_n^2 \approx \begin{cases} 6 \cdot 10^{-17} м^{-\frac{2}{3}} \text{ - слабая турбулентность,} \\ 2 \cdot 10^{-15} м^{-\frac{2}{3}} \text{ - средняя турбулентность,} \\ 2 \cdot 10^{-13} м^{-\frac{2}{3}} \text{ - сильная турбулентность.} \end{cases}$$

Вследствие этого, приходящий на входной зрачок оптической системы волновой фронт (ВФ) излучения будет искажен и деформирован. Компенсация этих искажений остается на сегодняшний день сложной технической проблемой.

2. Искажающие факторы атмосферы

Почему именно атмосферная турбулентность (АТ) ограничивает возможность компенсации фазовых искажений оптического излучения? По двум причинам. Во-первых, из всех возможных видов воздействия атмосферы на оптическое излучение АТ является одним из основных. Это можно видеть из схемы на рис. 2. Во-вторых, АТ – один из трудно диагностируемых искажающих факторов, пространственно удаленный от формирующей оптической системы.

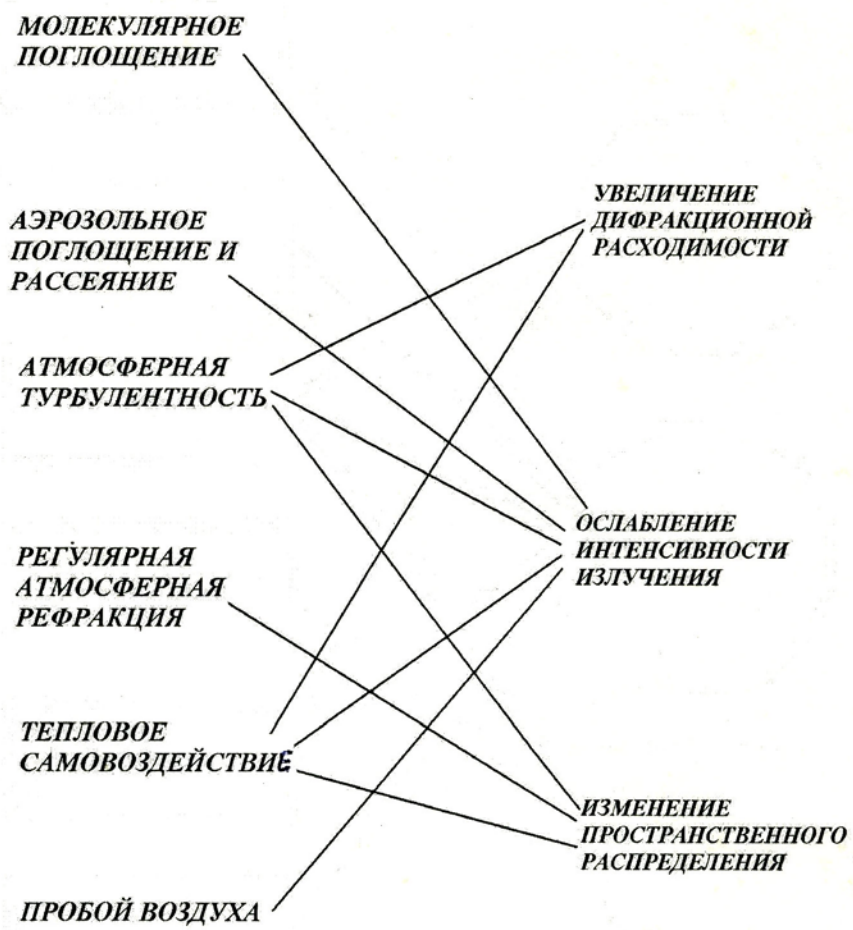

Рис. 2. Основные искажающие факторы атмосферы

Если считать, что размер неоднородности (масштаб неоднородности), в пределах которого радиус-вектор пространственной индикатрисы излучения источника на входе оптической системы имеет постоянное значение и приобретает соответствующие значения в зависимости от C_n^2,

$$r_0 = 1{,}68\left[k^2 \int_0^L C_n^2 dl\right]^{-\frac{3}{5}},$$

$$r_0 = 1{,}68\left(C_n^2 \cdot L \cdot k^2\right)^{-\frac{3}{5}},$$

где r_0 - размер неоднородности излучения,

L – длина турбулентной трассы,

k – волновое число, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$,

J - турбулентный оптический фактор

$$J = \int_0^L C_n^2 dl = (2...4) \cdot 10^{-13} \left[м^{\frac{1}{3}} \right],$$

то можно сделать практический вывод, что при $r_0 < D$ - изображение размывается, $r_0 \sim D$ - изображение дрожит, $r_0 >> D$ - дрожание имеет малую амплитуду.

Как это можно представить физически? Часть векторов интенсивности излучения (лучей), встречаясь в начале своего пути распространения с флуктуирующей неоднородностью, непрерывно меняют направление распространения излучения в некотором телесном угле с угловой скоростью ω. Линейная скорость смещения этой части векторов интенсивности $V_{ВФ}$ в плоскости входной апертуры оптической системы будет тем выше, чем больше будет расстояние до неоднородности L_n или больше ω, т.е.

$$V_{ВФ} = \omega \cdot L_n,$$

а это значит, что лучи этой части излучения будут пересекать апертуру оптической системы с высокой скоростью, вызывая мерцание изображения, никоим образом не влияющее на качество самого изображения.

Другая часть векторов интенсивности излучения, проходя через искажающую среду в непосредственной близости от входной апертуры, будет вызывать смещение волнового фронта излучения в пределах этой апертуры и в зависимости от размера неоднородности приведет к модуляции наклона ВФ в каждой точке апертуры оптической системы. Это, в свою очередь, скажется на качестве изображения, даваемого оптической системой.

Глубина модуляции m зависит от размера неоднородности r_0 и элемента апертуры оптической системы d_0.

Это обстоятельство очень важно, в частности, при выборе и обосновании размера элемента апертуры оптической системы с точки зрения эффективной компенсации АТ. Здесь сталкиваются различные противоречивые устремления разработчика с точки зрения получения с одной стороны максимальной глубины модуляции локальных наклонов ВФ, т.е. возможности полной компенсации АТ, а с другой стороны – получения большего потока излучения от каждого элемента

апертуры оптической системы, а следовательно и меньшего числа элементов коррекции на общей апертуре. Компромисс такого выбора характеризуется кривыми, представленными на рис. 3.

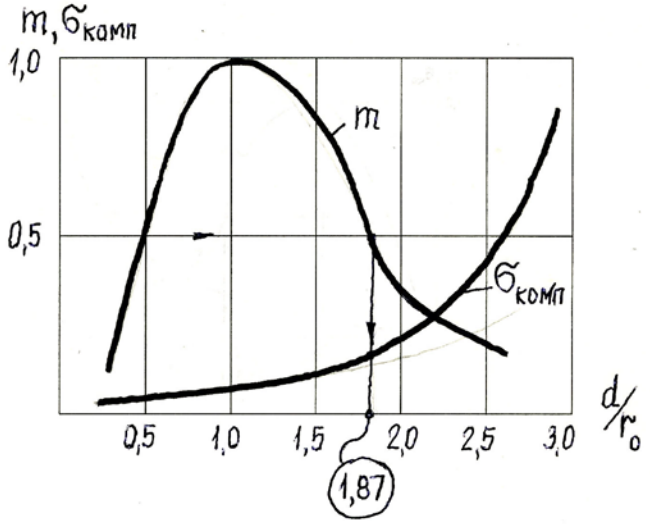

Рис. 3. К вопросу о компромиссе выбора глубины модуляции m и ошибки компенсации АТ $\sigma_{КОМП}$

Одна из них m - характеризует зависимость глубины модуляции локальных наклонов ВФ излучения от относительного размера элемента апертуры оптической системы и размера неоднородности, а другая $\sigma_{КОМП}$ - ошибку компенсации АТ, выраженную в долях дифракционного изображения.

Нетрудно видеть, что компромиссом можно считать размер корректирующей апертуры оптической системы, равный 1,87 от размера неоднородности АТ, ограничивающей разрешающую способность оптической системы величиной $\sigma_{КОМП}$=0,2 от дифракционной. При этом глубина модуляции остается еще достаточно большой, а именно, равной 0,5.

Уменьшение размера корректирующей апертуры до размеров неоднородности становится неприемлемым, т.к. разрешение оптической системы будет ограничиваться уже дифракционным пределом самого корректирующего элемента апертуры, соизмеримого с величиной неоднородности. Теряется смысл

коррекции ВФ, т.к. в этом случае придется корректировать ВФ с ошибкой, равной по величине сигналу коррекции.

Увеличение же размера корректирующей апертуры также нежелательно, т.к. приведет к потере полезной информации об искажениях ВФ за счет резкого снижения глубины модуляции m, а также - к ухудшению разрешающей способности оптической системы за счет возрастания остаточных (некомпенсируемых) искажений ВФ.

Наилучшие места размещения оптических средств наблюдения высокого разрешения с астроклиматом со слабой атмосферной турбулентностью (такие, например, как Параналь (Чили), Гавайи (США), Майданак (Узбекистан), Ла Пальма (Испания) и др.) имеют среднестатистический размер неоднородности, равный 0,5...0,6 м.

Согласно вышеустановленной рекомендации эффективный размер корректирующей апертуры должен быть равен 1,0 м.

Почему же разработчики 10-метрового Keck-телескопа (США) пошли на размер элемента составной апертуры в 1,6 м? Хочется думать, что сознательно. В этом случае при $m = 0{,}15$ и $\sigma_{КОМП} = 0{,}5$, теряя в качестве изображения и возможности эффективной коррекции ВФ, приобретается существенное технологическое преимущество: уменьшается число элементов адаптивной коррекции (вместо 91 элемента размером 1,0 м – всего 36 размером 1,6 м), упрощается система контроля и управления элементами коррекции ВФ. А потери в разрешении оптической системы разработчики с лихвой компенсировали использованием Keck-телескопа в режиме интерферометра, установив для этого на расстоянии 85 м второй Keck-телескоп.

При рассмотрении влияния атмосферы существует несколько теоретических подходов к объяснению механизмов этого влияния. Различные специалисты по-разному видят суть этого явления.

Различный подход можно отметить, прежде всего, в области представлений некоторых оптических процессов и явлений, в частности, распространения оптического излучения через возмущающую среду (атмосферу). Многие специалисты от радиолокации, испытав в начале 60-тых годов прошлого столетия

«кризис жанра», стали активно осваивать оптику со всем своим багажом представлений и терминологий, рассматривая ее через призму этих представлений. В результате этого перехода оптиками они не стали, а вот «одноволновый» подход (своего рода исходное допущение в теории распространения электромагнитных волн) к трактовке оптических явлений они привнесли. Это, прежде всего, «колмогоровский» пространственный спектр искажений волнового фронта, атмосферный радиус когерентности и т.д. О какой когерентности можно говорить, если оптическое излучение в общем случае некогерентное, а отношение $\frac{\lambda}{D}$ отличается в оптическом диапазоне длин волн более чем на три порядка от радиодиапазона. «Одноволновый» подход привел к потере адекватности представления и физической сущности явлений, а потому кажется нам неприемлемым в оптике (кроме случаев лазерного излучения). На самом деле мы имеем дело с «многоволновым» излучением, в котором каждая волна имеет свой волновой фронт, а само излучение является интегрированной структурой всех входящих в нее волновых фронтов. Поэтому правильнее в оптике говорить о «волновом фронте излучения» как геометрическом месте расположения концов радиусов-векторов интенсивности оптического излучения или, используя оптическую терминологию, о пространственной индикатрисе излучения.

Как всякая гипотетическая поверхность, индикатриса (будем условно ее называть прежним названием «волновой фронт») имеет пространственно-временные характеристики: апертуру, фазу, интенсивность, частотный спектр, дисперсию ошибки ВФ и т.д.

3. Физическая природа искажений в атмосфере

Любой слабосферический или плоский ВФ может считаться идеальным, поскольку является следствием отсутствия фазовой неоднородности по апертуре. При наличии искажений ВФ размер фазовой неоднородности определяет ту величину субапертуры, с помощью которой может быть осуществлена эффективная

фазовая коррекция ВФ по всей апертуре. Размер этой субапертуры практически равен двум радиусам Фрида ρ_0 (см. выше), т.е. диаметру сегмента (элемента) d_0 составной апертуры (составного главного зеркала) D. Превышение размера сегмента приведет к потере части информации об искажении ВФ и ухудшению качества изображения.

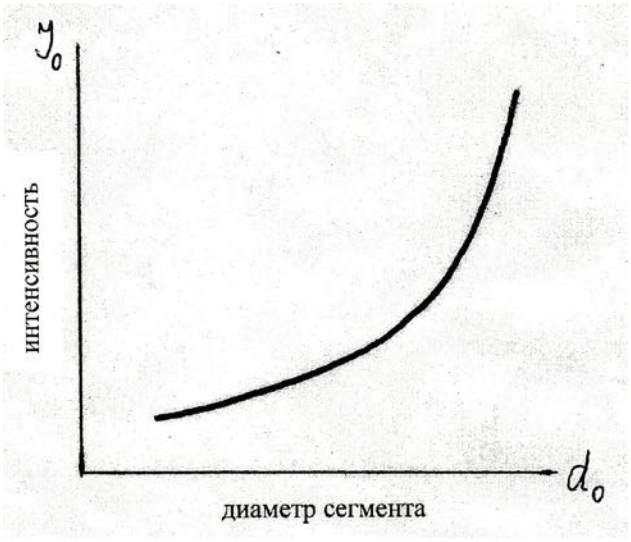

Рис. 4. Кривая зависимости интенсивности J_0 от диаметра зеркального сегмента d_0

Достаточно очевидно (рис.4), что интенсивность излучения J_0 в заданных условиях пропорциональна площади сегмента или просто квадрату диаметра сегмента d_0^2.

Если положить $|J_0| \sim |d_0^2|$, то чем больше d_0, тем больше J_0. Тогда

$$d_0^2 = k_1 J_0, \tag{1}$$

где k_1 - коэффициент пропорциональности.

В то же время размер фазовой неоднородности 2ρ обратно пропорционален частоте флуктуации фазы ВФ. Чем крупнее фазовая неоднородность, тем ниже частота f флуктуаций фазовых искажений ВФ. А т.к. величина неоднородности связана с интенсивностью излучения, можно утверждать, что чем выше частота f, тем меньше интенсивность J_0, а следовательно - величина фазовых искажений. В этом случае можно принять

$$J_0 = k_2 \frac{1}{f}, \quad (2)$$

где k_2 - коэффициент пропорциональности, зависящий от параметров атмосферы.

Тогда, подставляя (2) в (1), получим

$$d_0^2 = \frac{k_1 k_2}{f}, \quad (3)$$

т.е. квадрат диаметра элемента составной апертуры d_0 или по существу квадрат эффективного размера корректирующего элемента апертуры обратно пропорционален первой степени частоты флуктуации фазовых искажений излучения f.

Поскольку $J_0 \sim S$ или $J_0 \sim \frac{\pi}{4} d_0^2$, то можно принять

$$d_0^2 = \frac{1}{\pi/4} k_3 J_0, \quad (4)$$

где k_3 - коэффициент пропорциональности, зависящий от площади корректирующего элемента апертуры,

S – площадь апертуры.

С учетом (3) формула преобразуется к виду

$$J_0 = \frac{\pi}{4} \frac{k_1 k_2}{k_3} \cdot \frac{1}{f}. \quad (5)$$

Если принять $\frac{\pi}{4} \frac{k_1 k_2}{k_3} = k_4$, можно записать

$$J_0 = \frac{k_4}{f}. \quad (6)$$

Отсюда следует важный вывод, что интенсивность излучения (рис. 5), прошедшего через атмосферу, обратно пропорциональна частоте флуктуации фазы ВФ в размере элемента составной апертуры.

Рис. 5. Кривая зависимости интенсивности излучения, прошедшего через атмосферу, от частоты флуктуации фазы ВФ

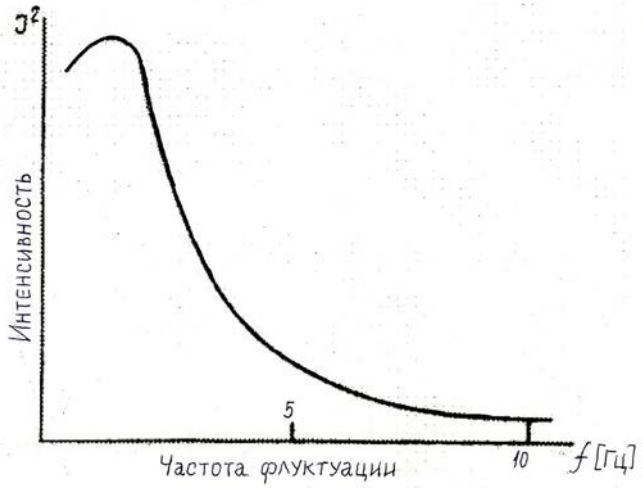

Рис. 6. Спектрадьная плотность флуктуаций фазы ВФ в телескопе АСТ-1200

К примеру, реальная спектральная плотность флуктуаций фазы ВФ в размере d_0= 0,4 м в телескопе АСТ-1200 имеет вид, показанный на рис. 6 [3]. Мы видим практически полное совпадение кривых. Экспериментальные исследования показывают более быстрый спад спектра мощности фазовых искажений ВФ в области высоких пространственных частот, чем это следует из модели Колмогорова. Экспериментальное подтверждение этому получены различными группами ученых-исследователей в различное время и в различных местах с различным астроклиматом [4 - 6].

Из тех же соотношений легко найти пороговую частоту $f_{ПОР}$, при которой эффективно корректируются искажения ВФ:

$$f_{ПОР} = \frac{k_4}{k_2}. \qquad (7)$$

Зная пороговую частоту $f_{ПОР}$, легко перейти к $J_{ПОР}$, а затем – к дисперсии ошибки ВФ $\sigma_{ПОР}$ (рис. 7 и 8).

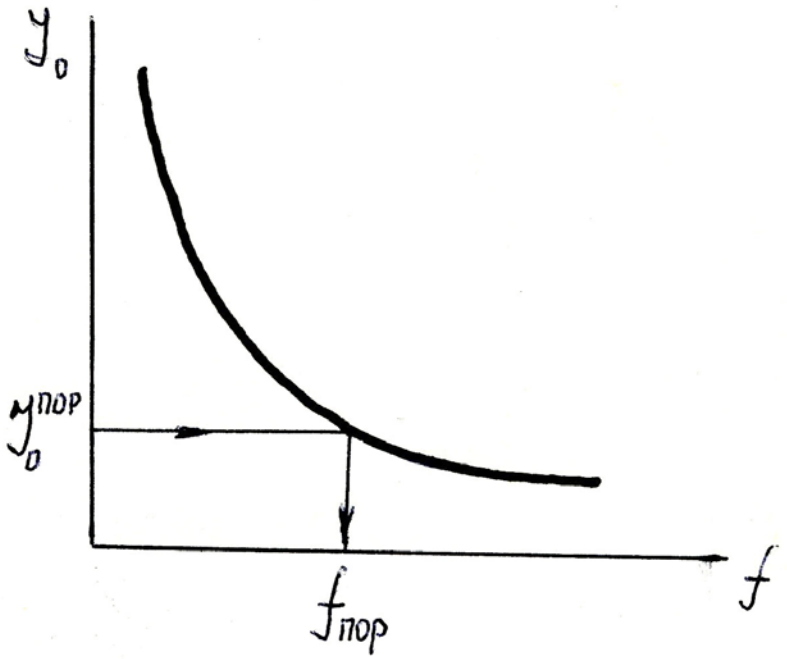

Рис. 7. К вопросу определения пороговой интенсивности

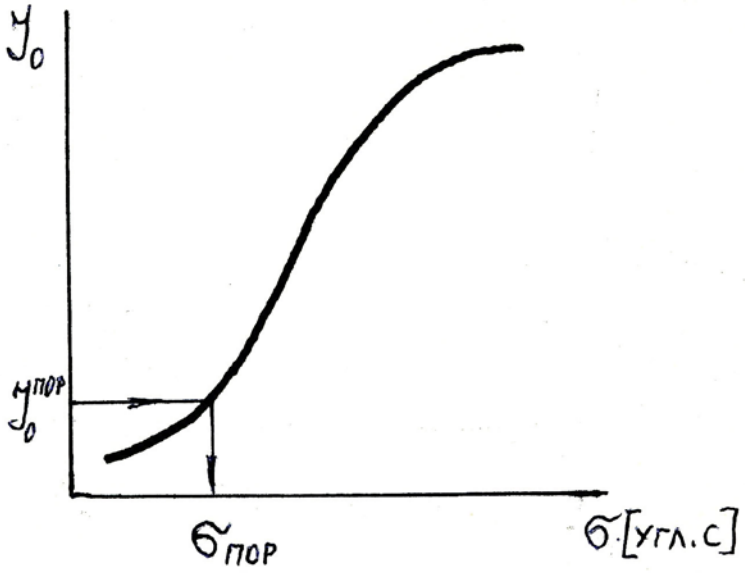

Рис. 8. К вопросу определения дисперсии ошибки ВФ $\sigma_{ПОР}$

Теперь несколько слов о формировании изображения в условиях действия этого искажения.

4. Геометрические аспекты атмосферного влияния.

Если, согласно предложенной Аббе в 1873 году дифракционной теории изображения, представить процесс формирования изображения в оптической системе как совокупность двух явлений: дифракции на объекте и интерференции волновых фронтов излучения от объекта, попавших в эту систему, то можно сделать ряд важных выводов.

Первый вывод. Влияние атмосферы на лучи, попавшие в оптическую систему, неодинаково по трассе распространения излучения. Оно возрастает по мере приближения излучения к входному зрачку оптической системы.

Второй вывод. Спектр пространственных частот фазовых искажений для лучей, попавших в оптическую систему, меняется по трассе распространения от низкой к высокой, а само влияние искажающего действия атмосферы нарастает по мере приближения к входному зрачку оптической системы.

Третий вывод. Чем дальше удален источник излучения, тем идеальнее становится его ВФ в размере апертуры оптической системы, т.к. уменьшается пространственный угол индикатрисы, охватывающей апертуру. Вот почему объекты на земле видны из космоса более детально (четче), чем те же обекты – с самолета. Те же лучи от источника, которые претерпели значительные искажения, в оптическую систему не попадут и не будут участвовать в образовании изображения. По мере приближения источника к оптической системе или по мере продвижения ВФ по трассе к оптической системе увеличивается диапазон искажений, при котором становится возможным попадание лучей в оптическую систему.

Эти три вывода иллюстрируются рис. 9

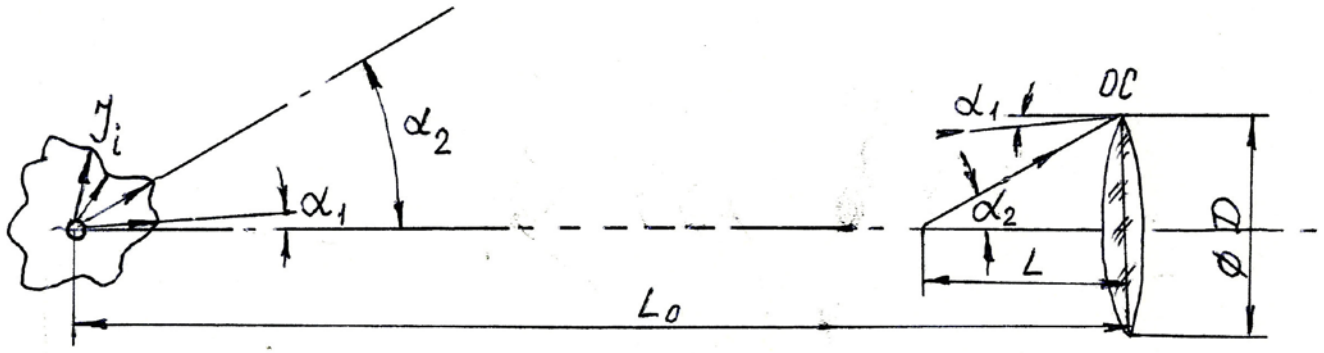

Рис. 9. К вопросу о геометрических аспектах влияния атмосферы

Из рисунка видно, что лучи от объекта J_i в телесном угле $\alpha_1 = \frac{D}{2L_0}$ попадут в оптическую систему и будут участвовать в формировании изображения, а лучи от объекта под углом α_2 пройдут мимо оптической системы. Попадание лучей от объекта в оптическую систему под углом α_2 станет возможным тогда, когда объект будет находиться на расстоянии L от оптической системы. Всякое изменение угла прихода лучей в оптическую систему оказывает тем большее влияние на качество изображения, чем ближе эти изменения происходят к оптической системе.

5. Фазовая коррекция атмосферных искажений

Несколько слов о том, как влияние атмосферы сказывается во входном зрачке оптической системы и в сопряженной плоскости, т.е. в выходном зрачке. Многие разработчики «увлекаются» заманчивой возможностью существенно уменьшить габариты фазового корректора, помещая его в выходной зрачок, не думая об отрицательных последствиях этого шага. Дело в том, что высокочастотная часть возмущений атмосферы вне оптической системы, вызывающая искажения ВФ, для апертуры входного зрачка является мелкомасштабной аберрацией, в то время как для апертуры выходного зрачка внутри этой системы она становится уже крупномасштабной аберрацией. Отсюда и все неприятности, которых могло бы не быть, если бы фазовый корректор поместить во входной зрачок. Итак, какие же это неприятности?

Прежде всего, увеличивается динамический диапазон искажений как по амплитуде, так и по частотам, что приводит к ухудшению точностных характеристик коррекции ВФ.

Увеличивается число искажающих факторов.

Увеличиваются ошибки фазового корректора.

Усиливается влияние искажающих факторов (например, влияние юстировки и ее стабильности).

Дополнительные потери информации за счет амплитудных потерь.

Дополнительное усложнение оптической и приемно-регистрирующей систем.

6. Некоторые рекомендации по снижению влияния атмосферы

Какие практические выводы можно сделать, чтобы использовать их для снижения влияние атмосферы на качество изображения.

Во-первых, нужно постараться располагать оптическую систему в места со спокойной атмосферой и низкой влажностью, т.е. там, где нет вблизи крупных

промышленных районов и жилых комплексов. Этот тезис, как свидетельствует практика, достаточно хорошо усвоен. Все известные астрономические комплексы расположены в горах с достаточно приемлемым астроклиматом.

Во-вторых, нужно стремиться к увеличению диаметра главного зеркала, чтобы увеличить поток принимаемого от объекта излучения и иметь возможность уйти в низкочастотную область искажений ВФ, с которой будет легче бороться.

В-третьих, необходимо освободиться от высокочастотной составляющей влияния атмосферы, исключить участие ее в формировании изображения, т.к. она является принадлежностью среды, искажающей проходящее через нее излучение от объекта.

В-четвертых, оптическая система должна быть защищена от непосредственного влияния температурных полей, движения воздушных потоков, павильонных эффектов и пр. Технические пути осуществления защиты могут быть различными и сводятся в основном к оптимизации конструкции оптического комплекса.

Итак, если рассматривать пространственную индикатрису излучения удаленного источника (объекта) в размере апертуры оптической системы как «волновой фронт» многоволнового излучения на входе, а передающую среду (атмосферу), через которую проходит это излучение, подвергаясь различного рода искажениям, как совокупность неоднородностей показателя преломления различной величины, плотности и температуры, к тому же имеющими нестационарный характер влияния на проходящее излучение, то можно утверждать следующее.

1. Волновой фронт излучения удаленного источника по мере приближения к оптической системе распрямляется и на входе имеет уже гладкую сферическую форму. Если расстояние до удаленного источника излучения достаточно велико (например, как до звезды), то волновой фронт излучения от такого источника становится плоским, т.е. идеальным.

2. Наличие неоднородностей на пути распространения излучения приводит к искажениям как интенсивности излучения в плоскости сечения пучка (т.е. к искривлению волнового фронта излучения источника), так и к пространственному

смещению волнового фронта относительно направления распространения излучения. Причем скорость этого смещения различна, зависит от состояния атмосферы (турбулентности, температурной неоднородности, скорости ветра и его направления и т.д.), что приводит к модуляции интенсивности излучения в плоскости изображения в широком диапазоне спектра частот.

3. В формировании изображения источника участвуют только те лучи, которые подвергнувшись воздействию атмосферы еще не вышли из конуса пучка лучей, опирающегося на апертуру оптической системы. А это воздействие, как указывалось раньше тем больше, чем ближе оно к оптической системе. А чем больше воздействие, тем выше угловая скорость изменения направления излучения и тем выше частота флуктуаций искажений волнового фронта.

7. Квантовая природа влияния атмосферы

Механизм квантового взаимодействия атмосферы с проходящим излучением проявил себя неожиданно и позволил ощутить перспективу использования его в рамках эффективного подавления вредного влияния атмосферы на проходящее излучение. Суть этого механизма стала понятной после проведения демонстрационных испытаний системы формирования мощного лазерного излучения на горизонтальных трассах (не лучшие условия для прохождения излучения) в 1989 году [7].

Еще в 1970-х годах талантливым русским ученым-исследователем Нектаровым Е.С. при сотрудничестве с отечественными учеными и специалистами была разработана и предложена модель обнаруженных эффектов аномального поглощения излучения как квантовая модель рассеяния радиоволн в веществе со сверхвозбужденными атомами.

Новые свойства атмосферы в условиях существования высоковозбужденных состояний вещества (гиператомов) позволили автору этой статьи обнаружить в 1989 году неизвестный ранее эффект успокоения флуктуаций атмосферы из-за образования устойчивых возбужденных состояний (гиператомных сред) при

воздействии на среду распространения излучения зондирующих корпускулярно-лучистых потоков [8].

Этот эффект характеризуется следующими основными признаками:

1) После воздействия кратковременного зондирующего излучения наступает успокоение флуктуаций атмосферы (тепловых и турбулентных) вдоль трассы распространения этого излучения, выражающееся в существенном уменьшении амплитуды искажений ВФ.

2) Этот эффект продолжает иметь место и после снятия зондирующего излучения на время во много раз превышающее время воздействия зондирующего излучения. Продолжительность этого времени зависит от астроклиматических свойств атмосферы на трассе распространения излучения. Чем разреженнее атмосфера, тем больше продолжительность эффекта успокоения флуктуаций после прекращения воздействия зондирующего излучения.

3) В большей степени этот эффект проявляется при больших мощностях зондирующего излучения.

Новый взгляд на проблему влияния атмосферы на качество изображения в оптических телескопах и методы борьбы с искажениями ВФ, очевидно, поможет разработчикам сложных оптико-электронных средств наблюдения выбрать правильное техническое решение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самофокусировка света // БСЭ. М., 1975. Т. 22. С. 550.

2. Квантовая электроника. Маленькая энциклопедия. М., Советская энциклопедия. 1969. 432 с. (Маленькие энциклопедии. История - наука - техника - культура – жизнь).

3.Сычев В.В. Адаптивные оптические системы в крупногабаритном телескопостроении / В.В. Сычев.- Старый Оскол.: - Тонкие наукоемкие технологии. 2005 г. С. 464.

4. Балаховская Т.И., Борисенко В.И., Витриченко Э.А., Масленников К.Л., ак. Прохоров А.М., ак. Сагдеев Р.З., Трушин Е.В., Чесалин Л.С. // ДАН СССР. 1984. Т.274. №5. С. 1057-1060.

5. Дудинов В. Н., Цветкова В. С. Анализ мгновенных изображений звезд и оценки параметров атмосферы // Астроклимат и эффективность телескопов. Тр. Всес. Конф. рабочей группы “Астроклимат” Астросовета АН СССР (Абастумани, 23-26 ноября 1981 г.).- Л.: Наука, 1984.-С. 124-125.

6. Wang J.Y., Marker J.K. Modal compensation of atmospheric turbulence phase distortion // Journal of the Optical Society of America. 1978. V.68, №1. pp. 78-87.

7.Нектаров Е.С., Квантовая модель рассеяния радиоволн в веществе со сверхвозбужденными атомами / Е.С. Нектаров, В.В. Сычев, Н.Д. Устинов // Квантовая электроника. 1979. т.6. №7. С. 1389-1400.

8. Стешенко Н.В., Сычев В.В. Адаптивные оптические системы в крупногабаритном телескопостроении. Итоги науки и техники. Сер. Управление пространственной структурой оптического излучения. Т.1. М. ВИНИТИ, 1990. – С. 107-167.

SCIENTIFIC PERIODICAL OF THE BAUMAN MSTU
SCIENCE and EDUCATION
EL № FS 77 - 48211. №0421200025. ISSN 1994-0408
electronic scientific and technical journal

Influence of the atmosphere on image quality in optical telescopes

 # 05, May 2012
DOI: 10.7463/0512.0414002
Sychev V.V.

Russia, Bauman Moscow State Technical University
viktorsychev@list.ru

The atmosphere is one of the basic factors worsening the quality of optical systems. The atmosphere as a medium for radiation propagation shows its distorting influence through the ability to absorb, to scatter, to refract (atmospheric refraction) this radiation, to change its properties continuously (atmospheric turbulence), and also, depending on the state of the atmosphere, to produce different electromagnetic effects (electrical breakdowns, ionization, etc). The author proposes a new approach to examination of the influence of the atmosphere on image quality. It was shown that this influence has geometric and three-dimensional temporary special features. Recommendations regarding effective reduction of this influence are given.

Publications with keywords: adaptive correction, turbulence, the atmosphere, the wave front of emission, phase corrector
Publications with words: adaptive correction, turbulence, the atmosphere, the wave front of emission, phase corrector

References

1. Samofokusirovka sveta [Self-focusing of light]. *BSE* [Great Soviet Encyclopedia]. Moscow, 1975, vol. 22, p. 550.

2. *Kvantovaia elektronika. Malen'kaia entsiklopediia* [Quantum electronics. Small encyclopedia]. Moscow, Sovetskaia entsiklopediia, 1969. 432 p. (*Malen'kie entsiklopedii. Istoriia - nauka - tekhnika - kul'tura – zhizn'* [Small encyclopedia. History - the science - technology - culture – life]).

3.Sychev V.V. *Adaptivnye opticheskie sistemy v krupnogabaritnom teleskopostroenii* [Adaptive optical systems in a large telescope building]. Staryi Oskol, Tonkie naukoemkie tekhnologii, 2005. 464 p.

4. Balakhovskaia T.I., Borisenko V.I., Vitrichenko E.A., Maslennikov K.L., Prokhorov A.M., Sagdeev R.Z., Trushin E.V., Chesalin L.S. *Doklady Akademii Nauk SSSR* [Reports Of Academy Of Sciences of Ussr], 1984, vol. 274, no. 5, pp. 1057-1060.

5. Dudinov V. N., Tsvetkova V. S. Analiz mgnovennykh izobrazhenii zvezd i otsenki parametrov atmosfery [Analysis of the instantaneous images of stars and estimate the parameters of the atmosphere]. *Astroklimat i effektivnost' teleskopov. Tr. Vses. Konf. rabochei gruppy "Astroklimat" Astrosoveta*

AN SSSR [Astroclimate and efficiency of telescopes. Proc.of All-Union Conf. of the Working Group “Astroclimate” of Astro-Council of USSR Academy of Sciences]. Abastumani, 23-26 November 1981, Leningrad, Nauka, 1984, pp. 124-125.

6. Wang J.Y., Marker J.K. Modal compensation of atmospheric turbulence phase distortion. *Journal of the Optical Society of America*, 1978, vol. 68, no. 1, pp. 78-87.

7.Nektarov E.S., Sychev V.V., Ustinov N.D. Kvantovaia model' rasseianiia radiovoln v veshchestve so sverkhvozbuzhdennymi atomami [Quantum model of scattering of radio waves in the substance with superexcited atoms]. *Kvantovaia elektronika*, 1979, vol. 6, no. 7, pp. 1389-1400.

8. Steshenko N.V., Sychev V.V. Adaptivnye opticheskie sistemy v krupnogabaritnom teleskopostroenii [Adaptive optical systems in a large telescope building]. *Itogi nauki i tekhniki. Ser. Upravlenie prostranstvennoi strukturoi opticheskogo izlucheniia* [Results of science and technology. Ser. Management of spatial structure of optical radiation]. Moscow, VINITI Publ., 1990, vol. 1, pp. 107-167.