

**В.П. Лукин**

## **ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДАПТИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В АТМОСФЕРЕ**

Обобщены результаты, полученные в последние годы в лаборатории прикладной и адаптивной оптики, по проблеме развития и использования адаптивных систем. Предложена классификация современных оптико-электронных систем (ОЭС). Определено место адаптивных систем в структуре ОЭС.

Выделены проблемные моменты в развитии адаптивных систем: создание современной численной модели и проведение структурного анализа наиболее перспективных алгоритмов и схем ОЭС с применением адаптивной коррекции.

### **1. Введение**

Специфическая природа распространения оптических волн в атмосфере (как канале передачи энергии и информации) полностью обуславливает процессы формирования оптических пучков и изображений [1,2]. В настоящее время признано, что наиболее эффективным способом подавления флуктуаций является использование адаптивных оптических систем, реализующих принцип обратной связи [3,4].

В настоящей статье сделана попытка определить место адаптивных оптических систем (АОС) в структуре современных оптико-электронных систем (ОЭС).

### **2. Классификация современных оптико-электронных систем**

Первое, что напрашивается для проведения структурного анализа современных ОЭС, – это формирование их классификации. На мой взгляд, наиболее методологически правильной классификацией ОЭС может быть та, которая связана с определением процессов обработки и преобразования полезного сигнала в оптико-электронной системе.

По-видимому, следует выделить четыре класса ОЭС:

а) Системы прямого детектирования, у которых фототок представляет собой усредненную по поверхности фотоприемника и по времени взвешенную величину значения мгновенной интенсивности падающего на приемник системы оптического поля. В таких системах информация о фазе оптической волны теряется уже на уровне регистрации оптического поля, фиксируются только распределения <мгновенной> интенсивности.

б) ОЭС с фазовой обработкой сигнала. К этому классу относятся любые оптические системы, которые способны регистрировать фазовые вариации оптического сигнала. В этот класс входят все интерференционные и дифракционные фазометры, гетеродинные (и гомодинные) измерители. Системы этого класса, безусловно, обладают более широкими возможностями по сравнению с системами прямого детектирования.

в) Третий класс ОЭС занимают адаптивные оптические системы (АОС), в которых наличие обратной связи, реализуемое через два специфических <новых> элемента – датчик волнового фронта и управляемый оптический элемент, позволяет на основе управления фазой волнового фронта уменьшить возмущающее влияние среды, в которой распространяется оптическая волна, на характеристики оптического излучения. Это качественно новый уровень ОЭС, позволяющий оптической системе реализовать свои предельные (дифракционно-ограниченные) характеристики и параметры.

В свою очередь, чтобы построить адаптивную оптическую систему, необходимо не только расширение числа элементов системы, но и новый подход к проектированию такой системы.

Безусловно, организация проектирования и работы АОС требует более углубленных знаний о рассеивающих свойствах атмосферы (или другой среды) как канала распространения оптических волн.

г) Наконец, логическим развитием современных ОЭС является появление первых систем нового класса – обучающихся оптико-электронных систем или систем, реализующих идеи искусственного интеллекта. Обучающиеся системы не только адаптируются к изменению входных оптических сигналов в реальном масштабе времени, но и способны гибко изменять стратегию измерений, менять в ходе работы алгоритм своего функционирования и даже свою структуру. Такие системы, несомненно, требуют расширения наших знаний об атмосфере, в частности, умения прогнозировать изменения в случайно-неоднородной среде.

В настоящее время такие системы только появляются, но в XXI веке, по всей видимости, такие адаптивные оптические системы с элементами искусственного интеллекта будут основными ОЭС.

### 3. Теория атмосферных адаптивных оптических систем

При построении теории атмосферных адаптивных оптических систем необходимо учитывать основные флуктуационные компоненты атмосферы: атмосферную рефракцию; атмосферную турбулентность; тепловое самовоздействие излучения, обусловленное молекулярным поглощением.

#### 3.1. Распространение оптических волн в атмосфере в условиях адаптивного управления

Возможности фокусировки мощного лазерного излучения с использованием адаптивных алгоритмов исследовались нами в численном эксперименте для различных сценариев распространения излучения.

Прежде всего для однородных оптических трасс была исследована сравнительная эффективность адаптивной фокусировки на основе различных алгоритмов управления. Были проанализированы, в порядке усложнения, алгоритмы <априорной фазовой> коррекции, <медленной> и <быстрой> адаптивной фазовой коррекции на основе опорного излучения, а также алгоритмы амплитудно-фазовой коррекции [4–9] искажений мощных лазерных пучков.

Кратко обобщим полученные результаты.

Эффективность <априорной фазовой> коррекции оказывается пропорциональна числу Френеля излучающей апертуры. Для ближнего инфракрасного диапазона (3 мкм) турбулентность атмосферы заметно уменьшала интенсивность лазерного пучка в фокусе, <априорная> коррекция увеличивала интенсивность в фокусе примерно вдвое.

Адаптивная оптическая система на горизонтальной трассе стремится сфокусировать мощный пучок в <точку> (<быстрое> фазовое сопряжение) и в <линию> (<медленное> фазовое сопряжение) вблизи излучающей апертуры, причем степень дефокусировки ограничивается дифракцией мощного пучка и дислокациями в опорном пучке [10,11].

Анализируя различные <сценарии> распространения, в частности наклонные атмосферные трассы, однородные <высотные> трассы, сканирование мощных лазерных пучков, мы убедились, что наиболее важным эффектом, сопровождающим процесс фокусировки мощного излучения, является проявление <нестабильности>. Причем принципиально важна как нестабильность самого процесса теплового самовоздействия, так и ее проявление в условиях адаптивного управления.

В [11] были исследованы различные режимы работы адаптивных систем на атмосферных трассах разного типа. Было замечено, что проявление нестабильности при тепловом самовоздействии переводит процесс адаптивной фокусировки мощного лазерного излучения в итерационный процесс, в котором чередуются <хорошие> и <плохие> итерации.

В качестве иллюстрации на рис. 1 приведены временные диаграммы, характеризующие эффективность фокусировки мощного лазерного пучка на <высотной> однородной трассе. Рис. 1, а указывает на проявление нестабильности при фазовой коррекции, возникающей с ростом общей мощности лазерного устройства. Рис. 1, б отмечает, что нестабильность, т.е. переход в итерационный процесс, возникает и при увеличении уровня турбулентности за счет уменьшения высоты распространения. Рис. 1, в показывает, что проявление нестабильности при адаптации связано с потерей амплитудной информации: алгоритм фазового сопряжения (ФС) неустойчив, когда алгоритм обращения волнового фронта (ОВФ) дает вполне устойчивое поведение. И наконец, рис. 1, г показывает, что дальнейшее увеличение мощности излучения делает и алгоритм ОВФ столь же неустойчивым, как и ФС.

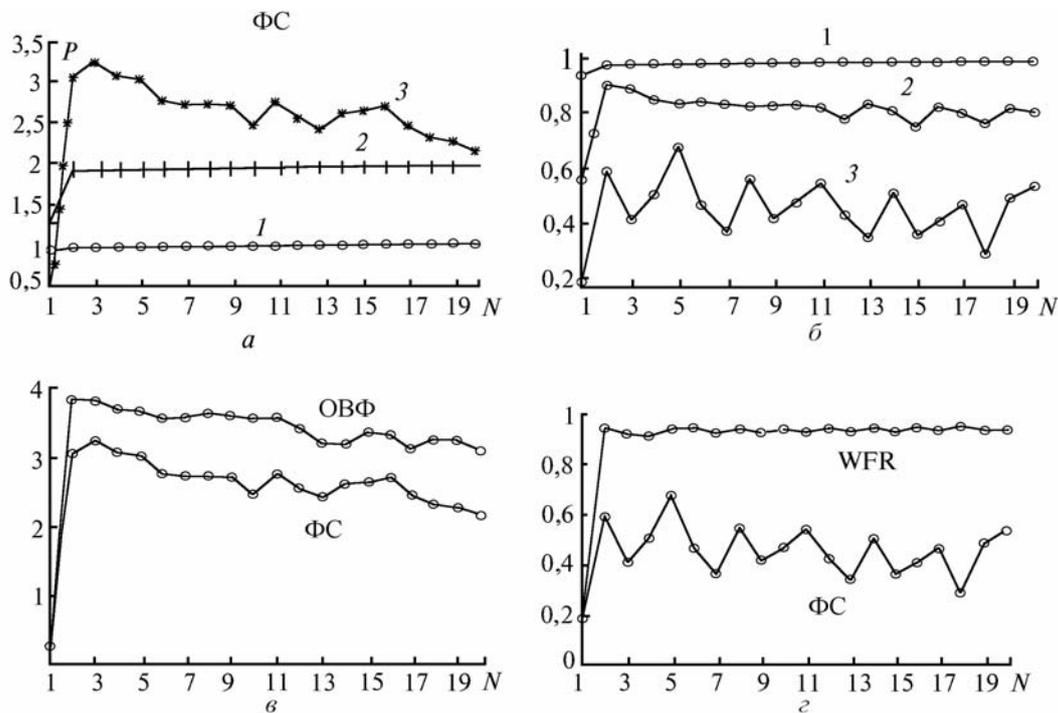


Рис. 1. Временные диаграммы поведения мощности  $P$ , переданной на цель с помощью адаптивной системы. Трассы распространения горизонтальные и приподняты над землей.  $a$  – сравнение эффективности фокусировки алгоритмом фазового сопряжения (ФС) при мощностях передатчика 1 МВт (1), 2 МВт (2), ; 4 МВт (3);  $b$  – фокусировка алгоритмом ФС для трасс с различными высотами над землей: 23 км (3), 25 км (2), 30 км (1);  $c$  – сравнение временных диаграмм для фокусировки по алгоритмам: обращения волнового фронта (ОВФ) и фазового сопряжения (ФС) для мощности 1 МВт;  $d$  – то же, для мощности 4 МВт. Здесь  $N$  – число временных итераций процесса адаптивного управления

Безусловно, ключ к описанию неустойчивости оптических систем лежит в описании фазовых дислокаций волнового фронта.

### 3.2. Развитие моделей атмосферной турбулентности

Задачи описания фазовых флуктуаций оптических волн в турбулентной атмосфере для современных ОЭС требует углубленного исследования особенностей поведения спектра атмосферной турбулентности в области низких пространственных частот.

В частности, влияние внешнего масштаба атмосферной турбулентности оказывается важным при определении характеристик изображения, формируемого наземным телескопом. Прежде всего, это связано с тем, что размеры уже существующих и проектируемых телескопов существенно выросли. Например, <Телескоп новых технологий> (NTT) имеет апертуру 3,6 м, <Большой телескоп азимутальный> (БТА) – 6,05 м, проект <Очень большого телескопа> (VLT) –  $4 \times 8,2$  м, проектируемые телескопы семейства <Близнецы> (Gemini) – 8 м, гавайский телескоп Кекка (Кекк) – 10 м.

Вместе с тем был выполнен ряд измерений структурной функции фазы  $D_s(\rho)$  и связанных с ней функций. Здесь следует отметить измерения  $D_s(\rho)$ , проведенные в апреле 1991 года на телескопе NTT [12]. Результаты показывают, что уже на расстояниях  $\rho > 30$  см наблюдается отклонение от степенного закона

$$D_s(\rho) = 6,88 (\rho/r_0)^{5/3},$$

а далее происходит насыщение структурной функции фазы на постоянный уровень. В свою очередь, это можно интерпретировать как отклонение спектра турбулентности в области больших масштабов от закона Колмогорова–Обухова. Один из возможных путей интерпре-

тации этих данных – это введение конечного внешнего масштаба атмосферной турбулентности в спектре. К подобному выводу можно прийти, анализируя результаты измерения  $D_s(\rho)$  на многозеркальном телескопе (ММТ, США, Аризона) [13]. Однако следует отметить, что существуют данные измерений флуктуаций фазы на звездном интерферометре MARK-III [14], авторы которых уверяют, что нет необходимости вводить в спектр турбулентности атмосферы конечный внешний масштаб. В то же время известно, что составляющие параметры модели спектра атмосферной турбулентности, а именно  $C_n^2$ ,  $L_0$ ,  $l_0$ , являются, в свою очередь, переменными величинами вдоль трассы распространения излучения.

Применительно к условиям распространения излучения на вертикальных атмосферных трассах на основе обобщения моделей [15 – 20] высотного хода для  $C_n^2$  и  $L_0$  в работе [18] введено понятие <усредненного по оптической трассе> спектра турбулентности. Предлагается, что распространение излучения происходит в зенит и анализируются фазовые флуктуации, приведенные к входному зрачку телескопа.

Воспользуемся моделью из [18]

$$\int_0^{\infty} d\xi \Phi_n(\kappa, \xi) = 0,025 k^{-2} r^{-5/3} \kappa^{-11/3} (1 - \exp(-\kappa^2 / \kappa_0^2)) \exp(-\kappa^2 / \kappa_m^2)$$

и рассчитаем структурную функцию фазы для плоской волны

$$D_s(\rho) = 4 \pi^2 k^2 \int_0^{\infty} d\xi \int_0^{\infty} d\kappa \kappa \Phi_n(\kappa, \xi) (1 - J_0(\kappa, \rho)).$$

Для условий

$$\kappa_0 \ll \kappa_m, \quad \kappa_m^2 \rho^2 \gg 1$$

получим

$$D_s(\rho) = 6,88 \left\{ (\rho / r_0)^{5/3} + 2^{5/3} \Gamma(11/6) \kappa_0^{-5/3} r_0^{-5/3} [1 - {}_1F_1(-5/6, 1; -\kappa_0^2 \rho^2 / 4)] \right\}.$$

Очевидно, что для  $\kappa_0 \rho \gg 1$

$$D_s(\rho) = 6,88 (\rho / r_0)^{5/3} [1 - 0,62(\kappa_0 \rho)^{1/3}],$$

а в области  $\kappa_0 \rho \ll 1$

$$D_s(\rho) = 21,84 \Gamma(11/6) (\kappa_0 \rho)^{-5/3}.$$

Используя две последние формулы, можно обработать данные измерений  $D_s(\rho)$  на телескопе NTT [12] и получить следующие значения:  $r_0 = 0,17$  м,  $\kappa_0^{-1} = 0,26$  м. Таким образом, <средний по трассе внешний масштаб турбулентности>  $\kappa_0^{-1}$  и радиус Фрида  $r_0$  оказываются сопоставимыми.

Безусловно, эти выводы требуют дальнейшего анализа с привлечением новых экспериментальных данных.

### 3.3. Численная модель атмосферной адаптивной оптической системы

В настоящее время заложена [21,22] основа для реализации 4-мерной динамической модели адаптивной оптической системы, функционирующей в атмосфере, и, в частности, созданы численные модели отдельных составляющих адаптивного контура, такие как:

а) модель распространения мощных лазерных пучков через рефракционную и турбулентную среду;

- б) модель низкочастотного участка спектра атмосферной турбулентности (для случая приземного слоя атмосферы и для всей толщи атмосферы в целом);
- в) модели датчиков волнового фронта;
- г) различные модели многоэлементных составных и деформируемых активных зеркал;
- д) модель квантовых флуктуаций потока излучения.

Используя эту компьютерную динамическую модель, мы исследовали предельные возможности наземных адаптивных телескопов [23–25] как функции числа измерений в датчике волнового фронта, интенсивности и структуры турбулентности и величины самого принимаемого оптического сигнала.

Сейчас является очень важным в теории АОС перейти от простейших моделей и абстракций к практически реализуемым моделям и схемам. Применительно к задачам адаптивной фокусировки мощного лазерного излучения такая динамическая модель позволяет исследовать временные режимы действия АОС [4,24], выявить физические закономерности формирования нестабильностей при тепловом самовоздействии излучения, понять причины и источники этих нестабильностей [10,11].

Развитие таких компьютерных моделей позволяет подойти к проектированию АОС с точки зрения выбора оптимальных конфигураций датчика волнового фронта и управляемого деформируемого зеркала, учесть в расчетах такие эффекты, как проявление неизопланарности в больших оптических системах, моделировать искусственные опорные источники, а также анализировать эффективность различных алгоритмов управления как динамическим активным зеркалом, так и системой в целом.

#### **4. Применение адаптивных оптических систем в атмосфере**

В этом разделе рассмотрим некоторые практические приложения развиваемой нами теории атмосферных АОС.

##### *4.1. Дизайн адаптивных оптических элементов и систем*

Проведение экспериментов в атмосфере требует использования для формирования оптического контура специальных оптических элементов, входящих в структуру АОС, – это датчик волнового фронта и активное зеркало.

Были разработаны [29,31] в разные годы нескольких видов активных элементов: 4- и 19-элементные составные зеркала, каждый элемент которых имеет от одной до трех степеней свободы. Для управления наклонами волнового фронта создано несколько вариантов высокочастотных дефлекторов [30].

База различных фотоприемников видимого и ИК-диапазонов была использована при реализации гартмановского датчика волнового фронта, интерференционного измерителя фазы, а также измерителей положения центра тяжести оптического изображения.

Различные идеи, заложенные в схемы фазовых оптических измерителей, применялись при создании ряда комплексов по контролю качества оптических изделий и пучков излучения. Комплексы аппаратуры ИНТЕРКОН, СКИФ, ТЕЛЕВВОД, СИН, выполненные на базе отечественных компонентов, обеспечили более высокие измерительные характеристики, нежели у известной американской системы МАРК-III. Все эти комплексы аппаратуры внедрены в лучших российских центрах по производству оптических изделий: ЛОМО, ВНИЦ <ГОИ им. С.И. Вавилова>, НПО <Астрофизика>.

В последние годы в связи с созданием 4-мерной компьютерной модели АОС был выполнен более углубленный анализ точностных и динамических характеристик деформируемых оптических зеркал [7, 8]. Проблема создания высокоточных фазовых измерителей (интерференционного и гартмановского типов), работающих в условиях <сильных> флуктуаций интенсивности принимаемого оптического поля, потребовала изучения так называемых дислокаций волнового фронта [11,34].

В настоящее время перед нами стоит проблема дизайнера не только отдельных элементов, но и адаптивной системы в целом. На рис. 2 приведен пример структурной схемы адаптивного телескопа, имеющего несколько каналов для коррекции технических и атмосферных аберраций волнового фронта.

#### 4.2. Научная станция ИОА для исследования пограничного слоя атмосферы

Развитие методов и технических средств акустического и лазерного зондирования атмосферы обеспечивает количественную информацию о профилях температуры, давления, плотности, влажности, скорости и направления ветра, интенсивности турбулентности, концентрации загрязняющих газов в атмосфере, а также о спектре размеров аэрозольных частиц, их концентрации в облаках, туманах и дымках. Современные оптико-электронные системы требуют оперативного получения количественных данных по микрофизическим параметрам атмосферы и их трансформации на различных высотах в атмосфере, в частности о влиянии температурных инверсий в нижних слоях атмосферы на концентрацию продуктов антропогенного происхождения.

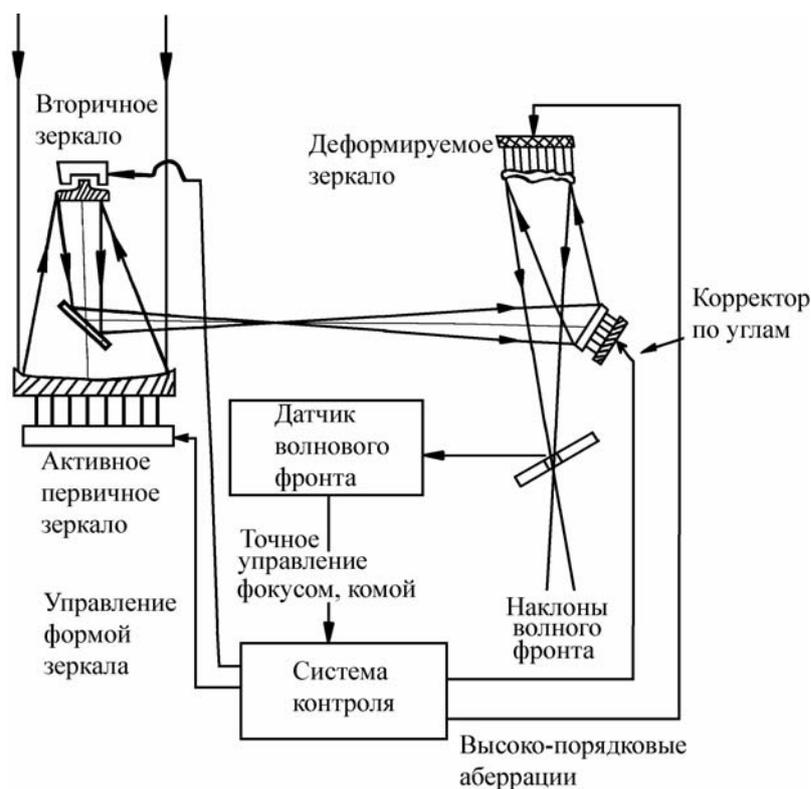


Рис. 2. Структурная схема адаптивного телескопа с активным первичным зеркалом и двумя адаптивными зеркалами: высокочастотным корректором изображения по двум углам наклона и деформируемым адаптивным зеркалом. Вторичное зеркало телескопа предназначено для точной юстировки телескопа

В настоящее время можно утверждать, что оценка эффективности современных ОЭС полностью зависит от качества знаний ряда физических параметров атмосферы.

Институт оптики атмосферы СО РАН развивает целую сеть научных станций (полигонов) для исследования атмосферы. Два основных класса ОЭС (системы прямого детектирования и системы с фазовой обработкой информации) уже сейчас требуют измерений достаточно широкого спектра ее параметров. Поэтому состав измерительных средств полигонов постоянно расширяется.

Мобильный аэрозольный лидар применяется для исследования оптико-физических условий в нижней атмосфере (вдоль горизонтальных и наклонных трасс), в частности для измерения наклонной дальности видимости, дистанционного определения аэрозолей в атмосфере, исследования связи микрофизики аэрозолей с характеристиками турбулентности атмосферы.

Акустический радар (содар) обеспечивает измерения в нижнем 1-км слое атмосферы; измеряются параметры атмосферы, высотные профили интенсивности турбулентности и поведение температурных стратификаций.

Для обеспечения метеорологической аттестации на полигоне установлена мачта со стандартными измерителями. Разработан уникальный ультразвуковой анемометр [33], позволяющий проводить измерения не только средних метеорологических характеристик, но и их флуктуаций.

Полигон оборудован горизонтальными оптическими трассами различной протяженности для испытания ОЭС, а также для разработки и уточнения модели атмосферы, поскольку именно она необходима для оценки эффективности применения ОЭС.

На рис. 3 приведена примерная схема размещения специальных оптико-метеорологических измерителей на научной станции Института оптики атмосферы.

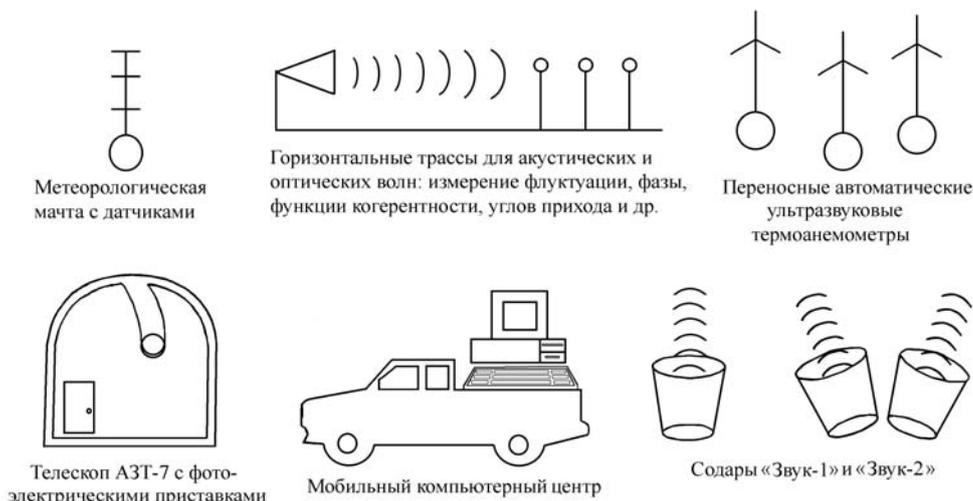


Рис. 3. Схема размещения измерительных устройств на научной станции Института оптики атмосферы СО РАН

Горизонтальные атмосферные трассы различной протяженности обеспечивают возможность измерения флуктуаций основных параметров оптических и акустических волн. Для исследования наклонных и вертикальных атмосферных трасс используется телескоп АЗТ-7 с различными фотоэлектрическими приставками.

#### 4.3. Эксперименты с адаптивными системами в атмосфере

На полигоне ИОА в условиях тщательного контроля состояния атмосферы, в том числе атмосферной турбулентности, проходят испытания различных макетов адаптивных оптических систем.

Эксперимент по стабилизации положения центра тяжести оптического пучка на основе отслеживания положения опорного изображения был выполнен [27] впервые в ИОА СО РАН.

В наших ранних экспериментах по стабилизации угловых смещений лазерных пучков использовалась разработанная в лаборатории лазерная адаптивная опорная система, которая обеспечивала стабилизацию оси лазерного пучка в пределах  $0,007''$  [4].

Очередным экспериментом была проверка возможности коррекции отдельных модовых составляющих фазовых флуктуаций [28]. В [29] нами впервые были предложены идеи применения так называемых <двухцветных адаптивных систем>.

Был проведен следующий эксперимент по коррекции изображения источника лазерного излучения, удаленного на расстояние 110 м, адаптивной системой с замкнутым контуром управления. В качестве активного оптического элемента использовалось 4-элементное зеркало, каждый элемент которого обеспечивал управление локальными наклонами участка волнового фронта. Оценка степени коррекции изображения проводилась на основе сравнения величины максимума освещенности и полуширины распределения скорректированного и нескорректированного изображений. При этом анализировалось изображение, полученное при усреднении 500 кадров, частота кадров 0,25 Гц.

Эксперимент показал, что в результате коррекции эффективная ширина распределения изображения уменьшилась в 1,5 раза, величина максимума освещенности увеличилась в 3 раза.

В настоящее время эти исследования продолжают с использованием новых вариантов датчиков волнового фронта и управляемых оптических элементов.

В заключение автор выражает свою глубокую признательность академику В. Е. Зуеву за предоставленные в Институте оптики атмосферы СО РАН широкие возможности проводить исследования по развитию и применению теории адаптивных оптических систем в атмосфере и благодарит своих коллег за сотрудничество и всестороннюю помощь.

Исследования 1994 г. частично финансировались грантом 94 – 02 – 03027 Российского фонда фундаментальных исследований.

1. Зуев В. Е. Распространение лазерного излучения в атмосфере. М.: Радио и связь, 1981. 288 с.
2. Беленький М. С., Лукин В. П., Миронов В. Л., Покасов В. Л. Когерентность лазерного излучения в атмосфере. Новосибирск: Наука, 1985. 176 с.
3. Адаптивная оптика/ Под редакцией Д. Фрида. М.: Мир, 1980. 456 с.
4. Лукин В. П. Атмосферная адаптивная оптика. Новосибирск: Наука, 1986. 248 с.
5. Зуев В. Е., Лукин В. П., Коняев П. А. // Изв. вузов. Физика. 1985. N 11. С. 6–69.
6. Канев Ф. Ю., Лукин В. П., // Оптика атмосферы и океана. 1991. Т. 4. N 12. С. 1273–1277.
7. Лукин В. П., Фортес Б. В. // Оптика атмосферы и океана. 1991. Т. 4. N 12. С. 1311–1317.
8. Лукин В. П., Канев Ф. Ю., Лавринова Л. Н., Чесноков С. С. // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. N 12. С. 1483 – 1489.
9. Lukin V. P., Fortes B. V., Kanev F. Yu., Konayev P. A. // J. Opt. Soc. Am. A. 1994. V. 11. N 2. P. 903–907.
10. Коняев П. А. // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. N 12. С. 1261–1268.
11. Лукин В. П., Фортес Б. В. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. N 3 (в печати).
12. Wiziniwicz P., McLeod B., Angel R. et al. // Appl. Optics. 1992. V. 31. N 28. P. 6036–6046.
13. Rousset G., Hubin N., P. Lena et al. // ESO Conference and Workshop Proceedings. 1993. N 48. P. 65–70.
14. Buscher D. F. // Proc. SPIE. 1994. V. 2200. P. 260–271.
15. Good R. E., Beland R. R., Murphy E. A., Brown J. H., Dewan E. M. // Proc. SPIE. V. 928. 1988. P. 165–186.
16. Лукин В. П. // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. N 4. С. 354–377.
17. Лукин В. П. // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. N 12. С. 1294–1304.
18. Лукин В. П. // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. N 9. С. 1102–1107.
19. Lukin V. P. // Technical Digest Series Optical Soc. of Am. 1992. V. 19. P. 243–245.
20. Lukin V. P. // Proc. SPIE. 1994. V. 2200. P. 384–395.
21. Lukin V. P., Fortes B., Kanev F., Konayev P. // Proc. SPIE. V. 2222. 1994. (in press).
22. Лукин В. П., Фортес Б. В., Канев Ф. Ю., Коняев П. А. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. N 3. Ч. I (в печати).
23. Lukin V. P. // Proc. SPIE. 1993. V. 1920.
24. Лукин В. П., Майер Н. Н., Фортес Б. В. // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. N 12. С. 1241–1251.
25. Лукин В. П., Канев Ф. Ю., Фортес Б. В. // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. N 12. С. 1324–1328.
26. Лукин В. П. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. N 3 (в печати).
27. Емалеев О. Н., Лукин В. П. // Квантовая электроника, 1982. Т. 9. N 11. С. 2264–2271.
28. Ботыгина Н. Н., Лукин В. П., Фризен А. Г. // Квантовая электроника. 1986. Т. 13. N. 8. С. 1652–1656.
29. Лукин В. П. // Квантовая электроника. 1988. Т. 15. N 9. С. 1856–1861.
30. Антошкин Л. В., Емалеев О. Н., Лукин В. П. // Приборы и техника эксперимента. 1988. N 5. С. 211–212.
31. Емалеев О. Н., Лукин В. П. // Материалы VIII Всесоюз. симпозиума по распространению лазерного излучения. Ч. 3. Томск, 1986. С. 183–185.
32. Антошкин Л. В., Ботыгина Н. Н., Емалеев О. Н., Лукин В. П. // Оптика атмосферы и океана. 1989. Т. 2. N. 6. С. 621–627.
33. Патрушев Г. Я., Ростов А. П., Иванов А. П. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 11. С. 1636–1638.
34. Майер Н. Н., Тартаковский В. А. // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. N 3 (в печати).

Институт оптики атмосферы СО РАН,  
Томск

Поступила в редакцию  
27 сентября 1994 г.

#### V. P. Lukin. Peculiarities of Adaptive Optical System Application in Atmosphere.

The theoretical and applied results on the problem of the adaptive systems use obtained recently in the Laboratory of Applied and Adaptive Optics are generalized in the paper. A classification of up-to-date opto-electronic systems (OES) is proposed as well as the position of the adaptive systems among OES is shown.

The problems of the adaptive systems evolution are underlined, i.e. developing of modern numerical models and performing of structural analysis of the most promising algorithms and structures of OES by means of adaptive correction.