

**В.П. Лукин, Ф.Ю. Канев, П.А. Коняев, Б.В. Фортес**

### **ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ АДАПТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЧАСТЬ 3. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ**

Описан пакет прикладных программ, созданный на основе рассмотренной в ч. 1 и 2 настоящей статьи численной модели системы адаптивной оптики. Особое внимание уделено интерфейсу пакета, который обеспечивает графический ввод и вывод информации, а также позволяет работать с пакетом пользователям, не имеющим специальной подготовки по программированию.

#### **1. Характеристики и структура пакета прикладных программ**

На основе вычислительных алгоритмов, рассмотренных в разделах 1 и 2 настоящей статьи, нами был создан пакет прикладных программ, моделирующий работу атмосферной адаптивной оптической системы. При проведении численных экспериментов пакет обеспечивает следующие возможности:

- задание условий распространения пучка (распространение в линейной среде, в условиях самовоздействия, в турбулентной атмосфере, при совместном влиянии двух последних факторов);
- задание геометрии эксперимента (вертикальные, наклонные, горизонтальные трассы);
- выбор элементной базы адаптивной системы (задание типа адаптивного зеркала, датчика волнового фронта);
- выбор алгоритма управления пучком (фазовое сопряжение, обращение волнового фронта);
- использование набора сервисных функций (решение задачи с записью распределения амплитуды и фазы на каждом шаге и последующим воспроизведением динамики, графический вывод результатов на экран дисплея и/или на устройство печати).

В качестве отдельного блока, имеющего собственный интерфейс, в пакет программ входит модель упругого статического зеркала, построенная на основе метода конечных элементов (см. ч. 2, п. 6 настоящей статьи). Задание параметров зеркала выполняется предварительно, до обращения к основной программе. Включение зеркала в полную модель осуществляется при формировании элементной базы адаптивной системы.

Разработанный пакет ориентирован на операционную систему Windows [1], что дало возможность использовать при программировании язык Visual BASIC [2], поддерживаемый этой системой. Visual BASIC позволяет реализовать управление программой и операции ввода-вывода параметров в удобном для пользователя виде. В то же время основные вычислительные процедуры были написаны на языке FORTRAN, который обеспечивает более высокое по сравнению с Visual BASIC быстродействие и имеет широкий набор встроенных функций. Взаимодействие осуществлялось через динамическую DLL-библиотеку [2], в которую были занесены подпрограммы, написанные на языке FORTRAN.

#### **2. Задание условий распространения и формирование элементной базы адаптивной системы**

Задание параметров адаптивной системы выполняется с помощью специально разработанного графического интерфейса, при этом управление программой возможно с клавиатуры компьютера или с помощью манипулятора «мышь». Главное окно интерфейса, появляющееся на экране дисплея при обращении к программе, изображено на рис. 1. В правой части

окна помещена колонка с «клавишами» задания параметров. «Клавиши» выполняют следующие функции.

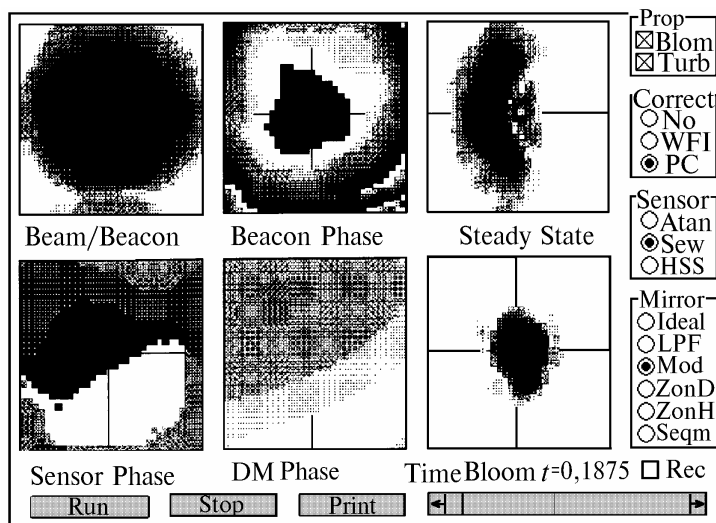


Рис. 1

Группа «клавиш» **Prop** – выбор режима распространения пучка (распространение в условиях теплового самовоздействия, в турбулентной атмосфере, вакууме или при одновременном учете турбулентности и нелинейности).

Группа **Correct** – выбор алгоритма компенсации искажений. Возможно рассмотреть распространение пучка в отсутствие коррекции, а также реализовать управление на основе алгоритма обращения волнового фронта или фазового сопряжения.

Группа **Sensor** – выбор датчика волнового фронта (идеальный датчик, возможность дополнить идеальный прибор алгоритмом «сшивания» фазовой поверхности, введение в систему датчика Гартмана).

Группа **Mirror** – выбор адаптивного зеркала.

В центральной части главного окна интерфейса помещены шесть полутонных рисунков, на которых представлены:

- 1) интенсивность основного или опорного пучка (по выбору пользователя) в плоскости апертуры излучателя;
- 2) распределение фазы опорного пучка;
- 3) распределение интенсивности пучка в плоскости наблюдения, установившееся при тепловом самовоздействии;
- 4) распределение фазы, регистрируемое датчиком волнового фронта;
- 5) фазовая поверхность, воспроизведенная адаптивным зеркалом;
- 6) текущее распределение интенсивности пучка в плоскости наблюдения.

Выход в дополнительные окна интерфейса, с помощью которых выполняется задание параметров пучка (мощность, радиус, длина волны) и атмосферы (скорость ветра, интенсивность турбулентности, коэффициент поглощения и т.д.), осуществляется через меню главного окна.

### 3. Задание параметров упругого статического зеркала

Как отмечалось выше, в рассматриваемом пакете прикладных программ задание параметров упругого статического зеркала оформлено в виде отдельного блока. Основные окна интерфейса описаны в настоящем разделе.

При вызове программы на экране дисплея появляется изображение первого окна (рис. 2), предоставляющего следующие возможности:

- вывод на экран параметров записанной предварительно модели зеркала («нажатие» на изображение «клавиши» CURRENT VERSION OF MIRROR);

- вычисление и запись матрицы жесткости новой модели зеркала («клавиша» NEW VERSION OF MIRROR);
- завершение работы программы («клавиша» EXIT).

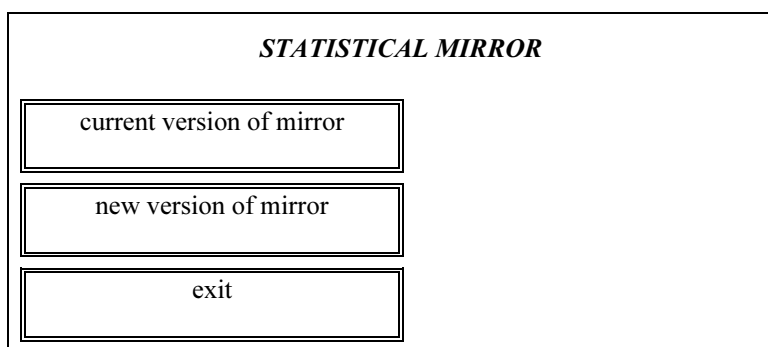


Рис. 2

В результате вызова блока считывания параметров матрицы жесткости на экране появляется панель DEMO (рис. 3). В левом верхнем углу этой панели приведено схематическое изображение зеркала, точки закрепления приводов обозначены кружками, квадратами показаны точки закрепления зеркала на опоре. Кроме того, на панели приведены такие параметры, как материал, из которого изготовлена пластина, число сервоприводов и точек закрепления, а также размерность расчетной сетки. Данный блок позволяет также оценить качество воспроизведения зеркалом низших полиномов Цернике («клавиши» defocusing, astigmatism, coma, sph. aberration). При нажатии на эти «клавиши» в левом нижнем углу появляется изображение воспроизводимого полинома и поверхности зеркала, на экран выдается цифровое значение квадратичной ошибки воспроизведения.

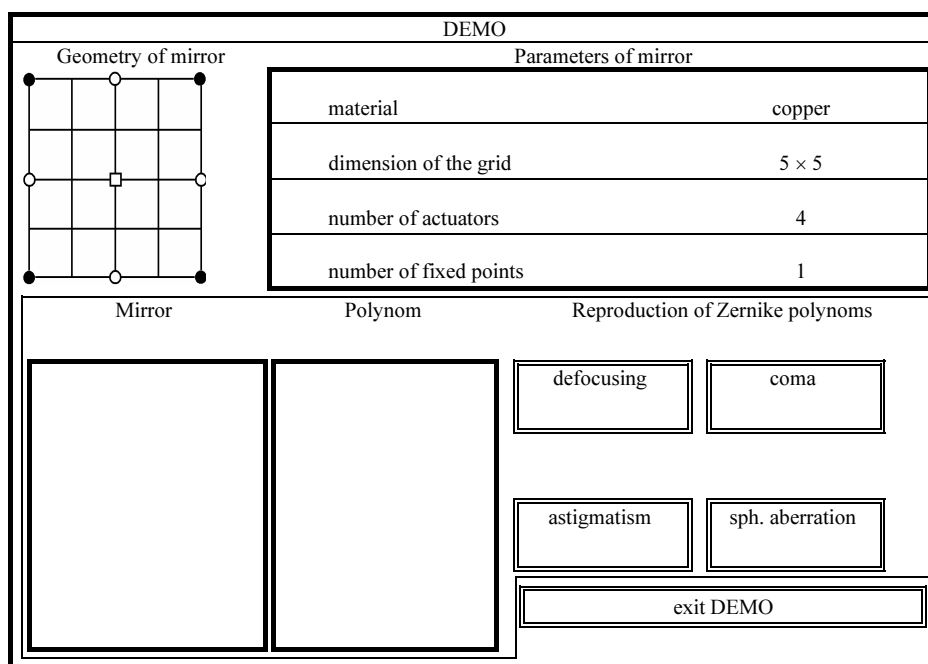


Рис. 3

Если необходимым является задание отличной от записанной прежде матрицы жесткости, управление блоком программы выполняется с помощью панели интерфейса MAIN PANEL (рис. 4). Здесь пользователь имеет возможность выбрать материал пластины и задать размерность расчетной сетки (максимальная размерность 21 × 21). От последнего параметра зависит количест-

во приводов зеркала, которое не может превосходить число узлов. Работа с программой облегчается выводом на экран инструкций.

Задание геометрии расположения приводов выполняется на панели, изображенной на рис. 5. Здесь в левой части приведена расчетная сетка, на которой квадратами указаны точки возможного размещения приводов. Для задания точки указатель «мыши» позиционируется на выбранном квадрате, одним нажатием задается положение привода, двумя нажатиями отменяется. Аналогично задается геометрия точек фиксации зеркала на опоре.

После задания параметров осуществляется обращение к программе вычисления и записи матрицы жесткости, написанной на языке FORTRAN. Результаты вычислений можно видеть при вызове панели DEMO.

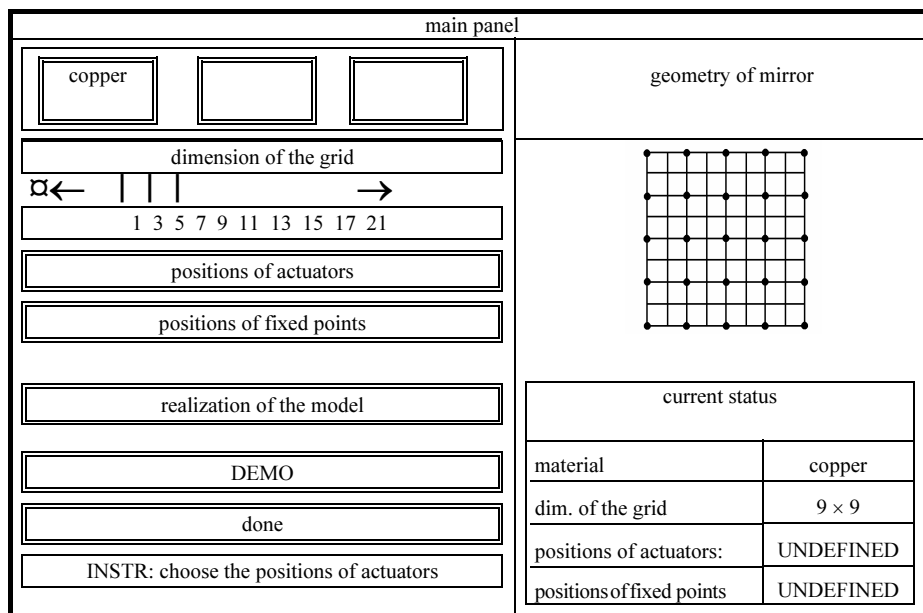


Рис. 4.

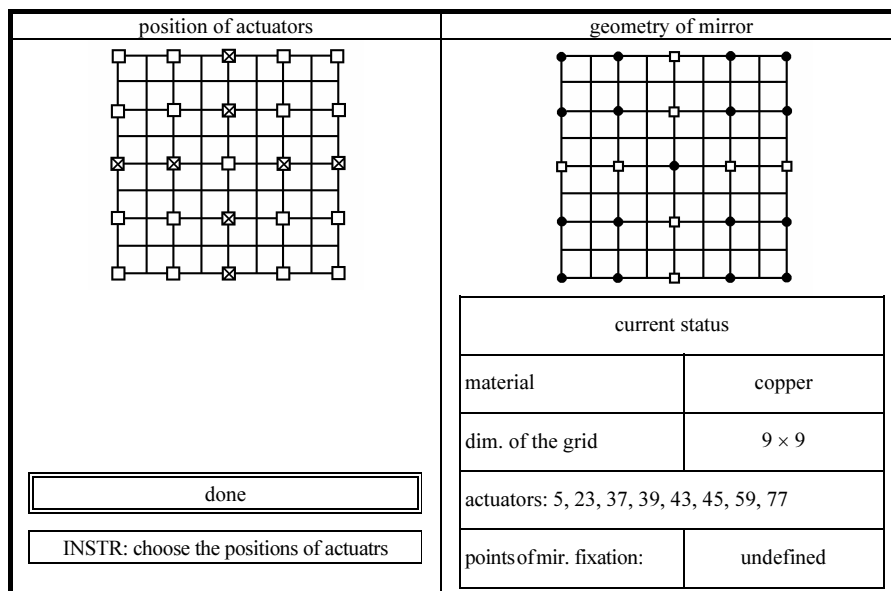


Рис. 5.

В дополнение к описанным выше программам в настоящее время нами ведется работа над блоком расчета деформаций динамического зеркала и его графическим интерфейсом.

## Заключение

В настоящей статье представлена математическая модель адаптивной оптической системы, рассмотрены численные методы, привлечение которых необходимо для реализации модели, описаны принципы построения пакета прикладных программ. Приведенные схемы были проверены сопоставлением с имеющимися экспериментальными данными (к сожалению, соответствующие результаты не вошли в данный выпуск журнала) и могут быть использованы при развитии численного эксперимента в области адаптивной оптики, при прогнозировании результатов натурных и лабораторных экспериментов, оценке эффективности проектируемых оптических систем. Отметим также, что графический интерфейс позволяет демонстрировать ряд физических явлений студентам вузов и техникумов.

В заключение подчеркнем, что для работы с пакетом программ не является обязательным глубокое знание языков программирования. Мы полагаем, что это расширяет круг потенциальных пользователей и позволяет больше времени и внимания уделить физической стороне моделируемого явления.

1. Microsoft Windows User's Guide. Microsoft Corporation. 1990. 640 p.
2. Microsoft Visual BASIC User's Guide. Microsoft Corporation. 1993. 482 p.

Институт оптики атмосферы СО РАН,  
Томск

Поступила в редакцию  
29 сентября 1994 г.

V. P. Lukin, F. Ju. Kanev, P. A. Konyaev, B. V. Fortes. **Numerical Model of an Adaptive Optical System. P. 3. Program Package of the Model.**

The program package made on base of the numerical model of the adaptive optical system treated in the two first parts of the paper is described in this part. Particular attention is paid to the package interface, which provides graphical input and output of information and allows users to deal with the package without special training.