

УДК 519.876.5

# ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДИФРАКЦИОННО- ОГРАНИЧЕННЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

**И. Л. Лившиц,**

канд. техн. наук, старший научный сотрудник

**М. А. Пашковский,**

программист

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий,  
механики и оптики

**И. Г. Бронштейн,**

директор

ЗАО «КБ Юпитер»

**М. Б. Сергеев,**

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

**Унчун Чо,**

доктор техн. наук, профессор

Корейский политехнический университет

Анализируется программное обеспечение, наиболее подходящее для проектирования дифракционно-ограниченных систем с высоким качеством изображения. В качестве примера рассматривается проектирование широкоугольного объектива для миниатюрной ПЗС-камеры.

## Введение

Инженеры-оптики, пожалуй, одними из первых осознали перспективы, которые открываются при использовании компьютеров в процессе проектирования оптических систем (ОС). Изначально компьютеры применялись для решения задачи по расчету хода лучей в ОС, что давало проектировщику большую свободу в выборе схемы системы — позволяло проверять несколько вариантов схем с большой (относительно ручного расчета) скоростью. Это открыло возможности по проектированию более сложных ОС, включающих в себя широкий спектр элементов, в том числе элементы с асферическими поверхностями и элементы, произвольно расположенные в пространстве. Помимо этого, при использовании компьютера разработчик может определить качество изображения в терминах аббераций, точечных диаграмм и частотно-контрастных характеристик. Позже появилась возможность оптимизации разработанных ОС в соответствии с функцией оценки, заданной проектировщиком. ОС, разработанные при помощи программного обес-

печения (ПО) подобного рода, внесли серьезный вклад в создание приборов для научных исследований и др.

## Существующее ПО для проектирования оптико-электронных систем

Сегодня на рынке представлено около двух десятков пакетов программ для проектирования оптико-электронных систем. Чтобы сделать правильный выбор, следует учитывать спектр задач, которые планируется решать с помощью этого инструмента, а также доступные ресурсы. Наряду с тем, что все пакеты обладают сравнительно одинаковым базовым функционалом (таким как расчет хода лучей через ОС и аббераций Зейделя), существуют и серьезные различия. В основном они сводятся к используемым методам оптимизации, логике создания схемы и удобству интерфейса. Серьезного внимания достойны следующие продукты.

**CODE-V** компании **Optical Research Associates (США)**. Самый популярный (и самый дорогостоящий) на данный момент пакет программ, удовлет-

воряющий практически все потребности оптика-проектировщика.

**SYNOPSIS** компании **OSD** и **ASAP** компании **BRO** (США). Программные продукты, решающие большинство задач по проектированию ОС. В них учитываются поглощение, механические и термические свойства материалов; в ОС предусмотрено использование призм, голографических и дифракционных элементов, асферических поверхностей, градианов, а также сдвиг элементов, их вращение и децентровка. Возможна тонкая настройка многовариантной оптимизации и функция оценки. Отличительными особенностями пакетов являются попытка использовать механизм искусственного интеллекта (ИИ) для выбора стартовой точки ОС и удобный графический интерфейс, наглядно представляющий, как изменение того или иного параметра ОС влияет на качество изображения. Программа SYNOPSIS [1] оптимальна по стоимости, в России находится дистрибьютор фирмы.

**Zemax**, **Focus Software Inc.** (США). Популярный пакет программ, одной из ключевых особенностей которого является возможность работы с поляризованным излучением. В России имеется дистрибьютор фирмы.

Следует отметить также:

- ПО OSLO компании Super-OSLO, Sinclair Optics, США;
- продукты компании Kidger Optics Ltd., Великобритания;
- продукты компании ACCOS V, США;
- продукты компании Genesee Optics Software, США;
- ОПАЛ, разработанный в СПбГУ ИТМО.

### Процесс разработки ОС

С появлением первых программных продуктов для оптиков и связанной с этим эйфорией многие начали пророчить полную автоматизацию процесса разработки ОС, но, как показало время, это оказалось утопией. Данному факту существует простое объяснение. Залогом успеха разработки ОС являются два критерия: хорошая стартовая точка для начала расчета ОС и грамотно составленная оценочная функция для ее оптимизации. Как было сказано выше, в пакете SYNOPSIS сделана попытка автоматизировать выбор стартовой точки с использованием ИИ, но даже при этом в процессе оптимизации этой ОС программа может и не реализовать весь потенциал выбранной стартовой точки. Для объяснения этого явления стоит рассмотреть, что такое процесс оптимизации. Оптимизация — это, фактически, поиск глобального минимума в  $n$ -мерной плоскости, где размерность  $n$  задается количеством варьируемых параметров ОС.

Основная причина, по которой может быть не раскрыт потенциал стартовой точки, — это определение программой оптимизации локального минимума и невозможность для нее, программы, выхода из него. Это является проблемой лишь для про-

граммы, а не для оптика, вкладывающего в процесс разработки весь свой опыт и интуицию. Действительно, синтез вариантов стартовой точки — это вопрос автоматизации, но выбор наиболее подходящей — вопрос творческого потенциала и опыта разработчика.

В данном контексте стоит упомянуть разработки, выполненные в СПбГУ ИТМО — ЗАО «КБ Юпитер», — программы структурного синтеза ОС типа «фотообъектив» (класс ОС, где предмет расположен на бесконечности, а изображение — на конечном расстоянии — фотопленке или ПЗС-матрице). Программы GEOS [2] и Struct [3] на основании технического задания предлагают разработчику несколько вариантов стартовых точек с пояснениями сильных и слабых сторон того или иного варианта.

Таким образом, оптимальным процессом разработки ОС является следующая схема:

1) синтез вариантов стартовых точек программой GEOS или Struct и последующий отбор разработчиком наиболее удачной из схем;

2) определение расстояний между поверхностями и показателей преломления материалов, заполняющих эти промежутки оптиком-проектировщиком;

3) составление оптиком оценочной функции;

4) оптимизация полученной системы в пакете SYNOPSIS.

Проиллюстрируем процесс создания ОС на примере объектива для ПЗС-камеры. Разрабатываемый объектив должен удовлетворять следующим техническим требованиям:

— относительное отверстие — меньше 1:2,8;

— поле обзора — 130°;

— фокальное расстояние — меньше 30°;

— спектральный интервал —  $\pm 250$  мкм;

—  $\delta$  — меньше  $5\delta_{\text{Эри}}$ ;

— задний фокальный отрезок — меньше  $0,5f$ ;

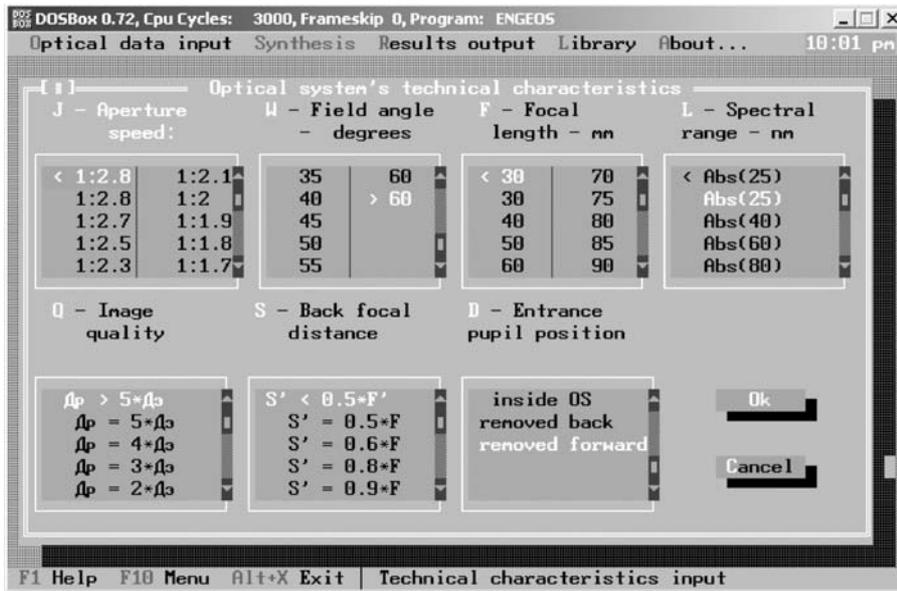
— диафрагма установлена перед системой, где  $\delta$  — диаметр кружка рассеяния;  $\delta_{\text{Эри}}$  — диаметр диска Эри для идеальной оптической системы;  $f$  — заднее фокусное расстояние.

Для синтеза стартовой точки эти данные были введены в программу GEOS (рис. 1), которая «предложила» пять вариантов (рис. 2), из которых был выбран следующий:

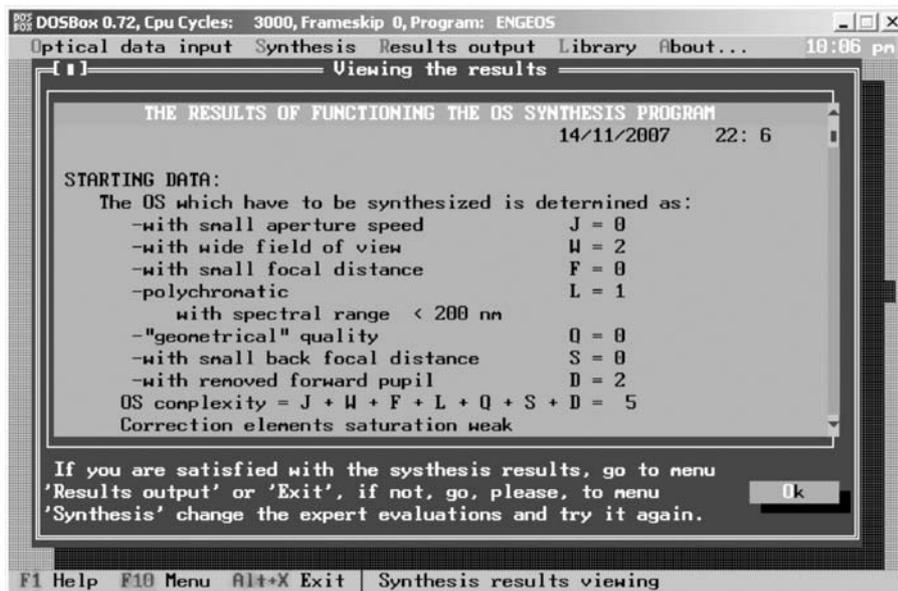
$$C(k, k) + B(a, k) + C(a, k) + L(a, k),$$

где  $C$  — коррекционные,  $B$  — базовые,  $L$  — светосильные элементы; символами  $k$  обозначены поверхности элемента, концентричные центру входного зрачка, и  $a$  — апланатические.

На основе теории расчета ОС были заданы типы материалов и толщины для каждого элемента и произведена оптимизация в пакете SYNOPSIS. В процессе оптимизации первый и последний элементы были преобразованы в склейки, также была добавлена плоскопараллельная пластина, являющаяся элементом датчика, толщина которой



■ Рис. 1. Установка параметров ОС



■ Рис. 2. Результат выполнения программы — оценка сложности ОС и стартовая точка

должна учитываться при расчете. Таким образом, был разработан широкоугольный объектив для миниатюрной ПЗС-камеры, представленный на рис. 3 и 4 (см. 3-ю стор. обложки) в двумерном и трехмерном виде соответственно.

### Перспективы в области автоматизации проектирования ОС

Процесс проектирования, описанный выше, позволяет утверждать, что перспективным направлением в области автоматизации является

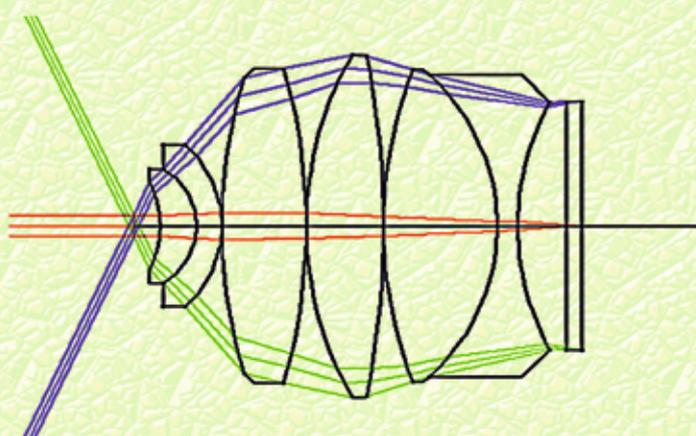
разработка систем параметрического синтеза и их интеграция с уже существующими пакетами.

Это гарантирует появление ПО нового класса для полного синтеза ОС, позволяющего на основании технического задания проводить полный синтез ОС:

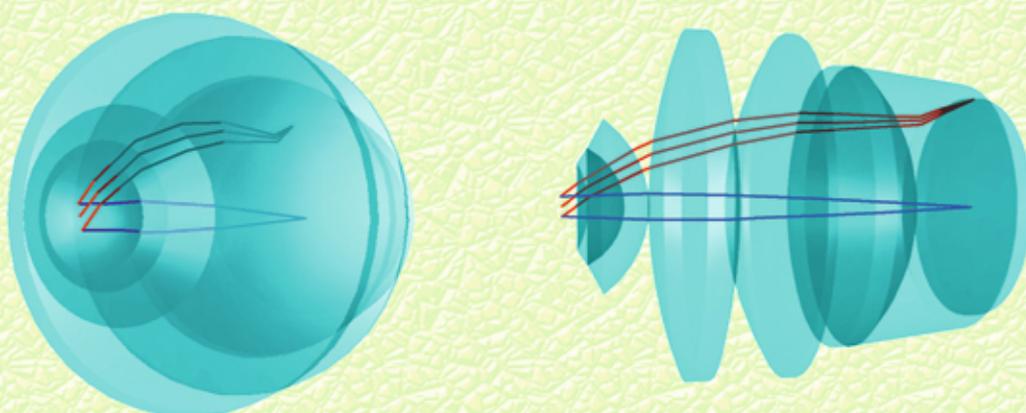
*структурный синтез* — предлагать проектировщику возможные принципиальные варианты (стартовые точки) ОС;

*параметрический синтез* — расчет параметров поверхностей для выбранного варианта.

Иллюстрации к статье  
И. А. Лившиц, И. Г. Бронштейн, М. А. Пашковский, М. Б. Сергеев,  
Унчун Чо. «Характеристики программного обеспечения для  
проектирования дифракционно-ограниченных оптико-электронных  
систем», стр 21.



*Рисунок 3. Оптическая схема широкоугольного объектива*



*Рисунок 4. Трехмерная визуализация широкоугольного объектива*

Главное преимущество такого ПО — высокая скорость разработки ОС.

В последние два года в компьютерной индустрии произошел сдвиг парадигмы от персональных рабочих станций с определенным набором установленного ПО к сетевым сервисам. Этот сдвиг обозначил тенденцию к переносу данных и программ пользователя в сеть в целях повышения мобильности последнего и доступности первого.

Сегодня существует потребность в ПО для научных разработок, которое учитывает данную специфику, поэтому стоит говорить еще об одном направлении развития для ПО полного синтеза ОС — разработке web-сервиса. Это позволит решить проблемы, связанные с обновлением ПО, баз данных оптических материалов и элементной базы, что в свою очередь является серьезной проблемой для конечного пользователя. Дополнительным плюсом такого ПО может являться удобный мультимедийный интерфейс пользователя, включающий в себя не только текстовую информацию и изображения, но и интерактивное представление ОС в трехмерном виде.

### Заключение

Практика показала, что сегодня оптимальным пакетом программ для проектирования дифракционно-ограниченных оптико-электронных систем можно считать SYNOPSIS по нескольким критериям:

1) наличие ИИ;

2) оптимальное соотношение цена-функциональность;

3) удобный интерфейс.

Помимо этого можно утверждать, что рынок программных продуктов такого рода на данный момент продолжает расти, и основным направлением роста является совершенствование программ выбора стартовой точки и алгоритмов оптимизации ОС.

*Работа выполнена в рамках международного контракта между Санкт-Петербургским государственным университетом информационных технологий, механики и оптики и Корейским политехническим университетом при поддержке гранта Корейского исследовательского фонда, основанного корейским правительством (MOEHRD) (KRF-2006-613-C00002).*

### Литература

1. SYNOPSIS. V12.054, USA, OSD, Inc., 2007.
2. Anitropova I. L. Formalizing the heuristic synthesis procedure in lens design: OSA Proc. Of the International Optical Design Conf. Rochester, USA, June 1994.
3. Livshits I., Salnikov A. CAD based on developed algorithm and expert rules in proposed in automate lens // 4<sup>th</sup> International Conf. on Optics-Photonics Design & Fabrication, ODF'04: Proc. Makuhari, Chiba, Japan, July 2004.