

Параметр δ , входящий в формулы (1), определяет положение плоскости промежуточного изображения и может изменять свое значение.

Соответствующим подбором параметров первого параосиального луча (углов α_s и относительных высот h_s) были рассчитаны схемы с асферикой, определяемой деформациями σ_s и конструктивными параметрами: радиусов r_s и осевых расстояний d_s с использованием известных выражений для первого параосиального луча.

Для выполнения условия Петцваля (получение плоского изображения) предложена методика расчета, которая предполагает исследование зависимости коэффициента кривизны изображения 3-порядка для различных значений δ при выборе соответствующих величин α_2 и h_2 (рисунок 2). Величина h_2 определяет центральное экранирование \mathcal{E} . Практический интерес представляют системы, в которых значения α_2 , δ , d_1 и d_2 приведены в таблице 1. Значения δ получены интерполяцией функции в заданном интервале.

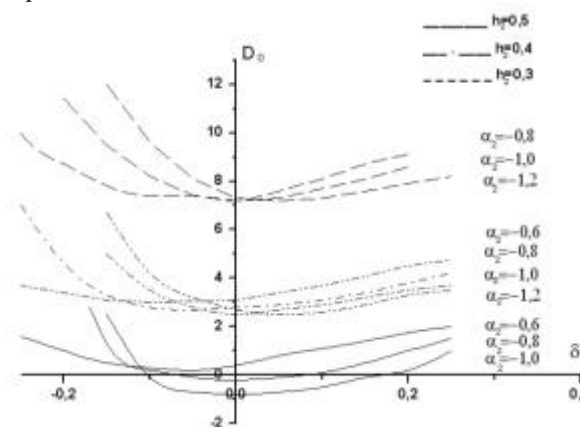


Рисунок 2 – Графическая интерпретация исследования кривизны изображения

Системы могут быть достаточно светосильными (значения углов α_s невелики), для варианта №2: $\alpha_2 = \alpha_3 = -1,0$; $\alpha_3 = 0,756315$; $\alpha_4 = -1,650028$.

Варианты содержат асферические поверхности различного профиля, имеющие длину $l=(0,8-1,25) f'$. Они обладают стабильной коррекцией

УДК 681.7.015.2+535.317

ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КЛАССИФИКАЦИИ И КАТАЛОГИЗАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Артюхина Н.К.¹, Марчик В.А.²

¹Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

²ОАО «Пеленг», Минск, Республика Беларусь

Тенденции научного технического прогресса нельзя представить без внедрения современных компьютерных технологий, включая автомати-

абerrаций по полю $2\omega=6^\circ \dots 8^\circ$ (кружок рассеяния 0,01 мм в центре и не превышает 0,05 мм с небольшим фоном выше этого предела на краю) для $f'=200$ мм, $D/f' = 1:1-1,2$ при экранировании $\mathcal{E}=0,3 \dots 0,58$. Три основные монохроматические aberrации откорректированы деформациями на трех зеркальных поверхностях. Для базового модуля был использован вариант со вторым сферическим зеркалом, когда деформации на первое и третье зеркала перераспределены так, что четвертое зеркало выполнено сферическим. Это особенно важно с технологической точки зрения. При расчете объектива также рассматривалась защита плоскости изображения от лучей «паразитной» засветки. Для устранения постороннего света, отраженного только от первого и второго зеркал, вводится бленда в свободное пространство, образованное осевым и экранированным лучом (рисунок 1). Для устранения постороннего света, попадающего на второе зеркало, минуя первое, а также лучей, многократно отраженных от других зеркал не требуется введения специальных бленд.

Таблица 1 – Варианты зеркальных план-объективов

№ вариантов	α_2	δ	d_1	d_2
1	-0,8	0,0544	-0,625	1,1020
2	-1,0	0,1611	-0,5	1,0348
3	-1,2	0,2182	-0,417	0,9775

Рассчитанные объективы могут применяться в приборах радиометрического и пленгационного типов.

1. Meinel, A.B. Two-stage optics / A.B. Meinel, M.P. Meinel //Optical Engineering. – 1992. – Vol. 31, No 11. – P. 2271–2279.
2. Артюхина Н.К., Котов М.Н. Заявка на выдачу патента РБ на изобретение «Зеркальный объектив» № А 20140275 – от 15.05.2014 г.
3. Артюхина, Н.К. Теория, методы проектирования и расчет зеркальных систем: монография / Н.К. Артюхина, БНТУ. – Минск, 2009. – 309 с.

зацию процессов проектирования в различных областях науки и техники. Компьютерное моделирование оптики – один из этапов технологии

информационной поддержки полного жизненного цикла оптических изделий. На рынке программных коммерческих продуктов представлен ряд пакетов прикладных программ для проектирования (ППП) и анализа ОС. Лидирующее положение занимают ППП Opal [1], ПП Zemax [2], Code V [3]. Существует достаточное количество других конкурирующих программных продуктов (к примеру, CAPO, Synopsys, Oslo, Demos [4]) для расчета ОС различной степени сложности.

Программные комплексы, обладая большими функциональными возможностями, не охватывают весь спектр задач, решаемых оптиком-расчетчиком в процессе производства. Актуальным вопросом является создание библиотеки компьютерных программ, предназначенных для моделирования и технологической адаптации оптических систем любого класса, учитывающих специфику конструкторских разработок, особенности технологических процессов изготовления оптических деталей и сборки готовых узлов и приборов и выполняющих функции, которые не встроены в конфигурации известных компьютерных пакетов по расчету оптики.

Выбор стартовой точки по-прежнему остается функцией разработчика. Кратко отвечая на вопрос «Откуда берутся исходные оптические схемы при разработке изображающих ОС?», можно назвать несколько надежных источников: теория проектирования оптических систем; различные базы данных: патентные, отраслевые, БД предприятий; каталоги производителей ОС; алгоритмы экспертных систем; имеющийся опыт [5]. Если разработчик не смог подобрать требуемый модуль ОС из этих источников, он рассчитывает новую схему.

Удовлетворение требований, предъявляемых к новым разработкам, обеспечивается различными принципиальными схемами, что свидетельствует о существовании нескольких возможных решений. Оптимальный выбор схемы с заданной областью оптических характеристик имеет определяющее значение для успешной реализации поставленной задачи.

В настоящее время проблема классификации и составления каталогов ОС очень актуальна в связи с большими архивами рассчитанных оптических схем.

Классификация оптических систем – один из этапов проектирования оптики. Систематизация различных типов и модификаций позволяет проводить достаточно полный и глубокий анализ большого количества на первый взгляд довольно разнообразных схем и моделировать новые. Классификация играет огромную роль для понимания процесса проектирования ОС и является основой для понимания процедуры структурного синтеза, которая формализует переход от требо-

ваний технического задания к выбору элементной базы посредством применения набора эвристических правил. Многие новые зарубежные издания в области оптотехники дополнены материалами по классификации и каталогизации ОС [6].

Отметим, что патентная документация представляет собой исключительно ценный источник информации, ее анализ необходим для определения уровня техники и новизны создаваемой ОС. Полная информация, представляемая в патентах, избыточна, однако многие инженеры, специализирующиеся на расчете ОС, систематизируют полученные результаты своей работы в соответствии с принципами, принятыми в патентной литературе.

В настоящей работе рассмотрен аспект создания каталога (библиотеки) объектных модулей оптических систем различных классов, встроеного в конфигурацию компьютерного пакета по расчету оптики Opal. Под *оптическим модулем* будем понимать исторически сложившиеся схемные решения, которые во многих случаях получили имена собственные, обычно по имени изобретателя или числу компонентов. Модули могут использоваться как самостоятельно, так и в составе более сложной оптической схемы. Предложен алгоритм и установлен путь в архив с проверкой параксиальных характеристик.

Такой каталог позволит наилучшим образом выбрать базовые схемы, при этом будет затрачено минимальное время на разработку оптики оптико-электронных и лазерных приборов. В каталоге для каждой ОС приводится информация в определенной последовательности, общая схема которой выглядит следующим образом:

- название оптической системы;
- общее описание и особенности схемы;
- оптическая схема ОС;
- конструктивные параметры (мм): радиусы кривизны r , осевые расстояния между поверхностями d , световые диаметры и т.д.;
- оптические характеристики (фокусное расстояние f' , относительное отверстие D/f' , угловое поле зрения, 2ω видимое Γ или линейное увеличение β);
- для асферических поверхностей уравнения меридиональной кривой, деформации поверхностей σ , технологические параметры; асферичность, градиент асферичности, световой диаметр, радиус ближайшей сферы;
- вспомогательные конструктивные данные (задний отрезок системы S' , габариты (компактность): $d = k f'$ и др.);
- таблицы аберраций для точки на оси и главного луча при заданных характеристиках и параметрах (для объективов [мм]: $\Delta S'$, $\Delta y'$ – продольная и поперечная сферическая аберра-

ция, $\Delta Y'$, % – дисторсия, Z'_m , Z'_s – астигматические отрезки; для афокальных систем [дптр, °; ; ']: D' , σ' – сферическая aberrация; $\Delta\omega'$ – дисторсия, L_M , L_S – астигматические отрезки; η , % – неизопланатизм);

– графики остаточных aberrаций: поперечные aberrации в меридиональном и сагиттальном сечении, кривизна поля, дисторсия;

– точечные диаграммы (диаграммы кружка рассеяния), диаграммы волнового фронта, графики MTF (ЧКХ), функции рассеяния;

– дополнительные данные по aberrациям и виньетированию;

Графическая интерпретация оптических характеристик может быть различной: ФРТ изображают в виде карты уровней равной интенсивности, где дополнительно указано число Штреля; MTF обычно показывают в виде двумерной функции для меридионального и сагиттального сечения; ТД представляет картину точек пересечения лучей, равномерно распределенных по зрачку, с плоскостью изображения; фокусировочные диаграммы характеризуют изменение ТД в различных плоскостях установки (в частности, в ПНУ); ФРЛ показывает распределение интенсивности в изображении бесконечно длинной линии в меридиональном или сагиттальном сечении. Вычисление всех характеристик в геометрическом приближении основано на определении поперечных aberrаций для большого количества точек.

Дополнительно в зеркальных системах целесообразно приводить рабочие зоны с учетом «загораживания» зеркальными поверхностями пучков лучей, по которым можно судить о степени

влияния экранирования и виньетирования на качество изображения [7].

Такой классификационный подход к каталогам позволит служить одним из основных факторов сокращения сроков новых разработок.

Он может использоваться не только отдельными специалистами инженерами-оптиками; большинство оптических компаний рано или поздно приходят к необходимости создания архивов своих разработок и классификации этой информации.

1. Артюхина, Н.К. Компьютерное проектирование оптических систем: учебно-метод. пособие: в 2 ч. / Н.К. Артюхина, В.А. Марчик; Мин-во образования Респ. Беларусь; БНТУ. – Минск, 2007. – Ч. 1: Анализ центрированных оптических систем. – 105 с. (гриф УМО).
2. The Photonics Handbook, Book3, 52nd International Edition, A. Laurin Publication, 2006.
3. Национальный интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.focus.software.com>.
4. Национальный интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://fsapr2000.ru>.
5. Лившиц, И.Л. Выбор исходной системы для расчёта объективов / И.Л. Лившиц, А.В. Сальников, Unchung Cho // Оптический журнал. – 2007. – Т. 74, № 11. – С. 74–78
6. Smith, W.J. Modern Optical Engineering, the Design of Optical Systems / W.J. Smith. – 3rd ed. – New York: McGraw-Hill, 2000. – 617 p.
7. Артюхина, Н.К. Теория, методы проектирования и расчет зеркальных систем: монография / Н.К. Артюхина, БНТУ. – Минск, 2009. – 309 с.

УДК 620.179.16

НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТОВ ТРАНСФОРМАЦИИ ВОЛН В УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ

Баев А.Р., Асадчая М.В., Коновалов Г.Е., Гиль Н.Н.

ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»

Минск, Республика Беларусь

Трансформация волн – явление, играющее важную роль в практике ультразвукового контроля. Как известно, сама возможность возбуждения различных типов волн в твердых телах основана на трансформации мод на границе раздела сред. При распространении в объеме объекта ультразвуковые волны испытывают трансформацию, попадая на стенки или технологические элементы – отверстия, проточки, резкие изменения профиля и т.п. Зачастую трансформация волн мешает при контроле, так как в результате возникает большое количество т.н. ложных сигналов, маскирующих сигналы от дефектов. В других случаях преобразование типов волн осу-

ществляется намеренно (например, в методе Т-тандем) либо используется как признак наличия дефекта.

Значительное число объектов контроля имеют сложный рельеф поверхности – различные технологические выступы, радиусные переходы сопрягаемых поверхностей и пр. (например, валы прессового оборудования, вагонные оси колесных пар, сварные соединения). Нередко такая форма поверхности ограничивает возможности установки преобразователей и создает трудности при введении ультразвуковых колебаний в исследуемую область объекта. Как показано в [1], в таких случаях возможно использовать преобра-