

УДК 535.317

Принципы построения структурной схемы светосильных широкоугольных проекционных объективов

Е.О. Ламкина

Студентка, кафедра «Оптико-электронные приборы научных исследований»

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

Научный руководитель: Т.С. Ровенская,

доцент кафедры «Оптико-электронные приборы научных исследований»

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

МГТУ им. Н.Э. Баумана

elena.lamkina@yandex.ru

В качестве отправных классификационных признаков для включения принципиальной оптической схемы объектива в рассматриваемую группу используются ограничения на числовые значения основных оптических характеристик объективов, определенные в соответствии с [1]: относительное отверстие, превышающее для светосильных объективов величину 1:2,8 ($D/f' < 2,8$), угловое поле в пространстве предметов, превышающее 60° ($\Phi > 60^\circ$) - для широкоугольных объективов. Однако этих ограничений абсолютно недостаточно для обоснования выбора структурной схемы объектива, которая существенным образом зависит от назначения объектива, области его применения.

Светосильные объективы со средними (среднепольные или универсальные объективы) и широкими (широкоугольные объективы) полями в пространстве предметов находят применение в качестве оптических систем различных оптических и оптико-электронных приборов, в том числе в качестве проекционных объективов, фотографических объективов, объективов звездных датчиков ориентации, репродукционных объективов, миниатюрных видеообъективов телевизионных систем.

Конструктивные решения объективов, объединяемых в обозначенную выше группу, обеспечивают в рабочем спектральном диапазоне длин волн при различных сочетаниях числовых значений основных оптических характеристик объективов: фокусного расстояния, относительного отверстия, углового (линейного) поля, - удовлетворение необходимых требований к показателям формируемого качества изображения, к продольным и поперечным габаритным размерам при выполнении специфических конструктивных требований, в частности, к линейной величине заднего рабочего отрезка. К наиболее распространенным показателям формируемого качества изображения относятся:

- высокие значения контраста и разрешающей способности в центре и по полю изображения;
- высокое и постоянное значение освещенности в плоскости изображения;
- требования к коррекции дисторсии, в том числе исправление дисторсии на уровне в пределах одного – двух процентов по всему полю изображения;
- обеспечение работы в видимом или расширенном по отношению к нему спектральном диапазоне как в ближнюю ультрафиолетовую (УФ), так и в ближнюю инфракрасную (ИК) области длин электромагнитных волн.

Аналитический обзор оптических схем указанной группы объективов, разработанных в мире на период 70-х – 80-х годов в 20 века, дан в [1] и выполнен по следующим областям применения: фотографическая и киносъёмочная оптика, объективы – анастигматы для ультрафиолетовой области спектра, проекционные системы широкой линейки использования. В каждой из этих областей применения выделены направления развития с постоянным значением фокусного расстояния объектива и с переменными значениями (дискретным или непрерывным характером изменения). В обзоре отмечены схемные решения, построенные с применением линз, ограниченных только сферическими поверхностями, и решения, построенные с применением асферических линз, а также дан анализ функциональной эффективности использования асферических линз для оптимизации схемных решений в отношении числа оптических элементов, коррекции определенных типов аберраций, повышения за счет этого числовых значений оптических характеристик и улучшения показателей качества объектива. Линейки объективов были созданы под актуальные на рассматриваемый период времени приемники излучения и транспаранты, что, безусловно, отразилось на принципиальных конструктивных решениях разработанных объективов.

Сформулированные в [1] выводы по структурным особенностям оптических схем носят стратегический характер и позволяют проецировать их и на современный этап

развития такой группы светосильных объективов со средними и широкими полями как проекционные объективы. Такие выводы сделаны из анализа оптических схем короткофокусных светосильных особо широкоугольных объективов с увеличенным значением заднего фокального отрезка и повышенной равномерностью распределения освещенности изображения, в частности: асферического объектива «Ликар – 6» и сферического объектива «Ликар -7» , разработанных в СССР для киносъемки на 8 – мм пленку и формат «Супер - 8». Во-первых, определены общие принципы построения структурной схемы путем «установки впереди основного компонента объектива сложного отрицательного компонента или афокальной насадки с телескопическим увеличением в два – три раза меньшим единицы» [1]. Во-вторых, указано на необходимость обеспечения малых значений углов с оптической осью главных лучей внеосевых пучков для сохранения постоянства освещенности по полю изображения. В-третьих, отмечена тенденция увеличения продольных габаритов объектива при реализации сформулированного выше условия и, в – четвертых, указано на ухудшение условий для коррекции aberrаций высших порядков при одновременном удовлетворении требований уменьшения продольного габарита объектива (выполнение условия компактности объектива) и выполнения условия телецентричности (квазителецентричности) хода главных лучей внеосевых пучков в пространстве изображений.

В настоящее время широкое распространение получили видеопроекторы, линейки которых предназначены для различных приложений. Современный этап развития видеопроекторов происходит в направлениях миниатюризации, универсальности для применения в различных мобильных устройствах, повышения показателей качества проецируемого изображения по цветопередаче, контрастности, разрешению, уровню и распределению освещенности по полю, устранению перспективных искажений. В комплексе задач, решение которых обеспечивает прогресс в указанных направлениях, важное место принадлежит задачам, связанным с проектированием и технологическим обеспечением производства функционально необходимых линеек проекционных объективов.

Объектом данного исследования являются характеристики и структурные особенности схем проекционных объективов для видеопроекторов, реализуемых по жидкокристаллической (LCD (liquid crystal display), LCoS (Liquid Crystal on Silicon)) или микрозеркальной (DLP (digital light processing)) технологиям [2]. Методом исследования является подбор и анализ соответствующих технических решений по источникам патентной информации [4] с привлечением в случае необходимости компьютерного

моделирования с помощью универсальных ППП «ZEMAX», «OPAL». Поиск решений был локализован путем ориентации на требования (ТУ), связанные с реализацией НИР [3] «Исследование возможности создания параметрического ряда объективов с расширенным спектральным диапазоном работы («Н-2010-09-2.4») (№ ГР 012011 77489 от 01.11.2011г.).

Анализ (см. таблицу) показывает, что оптические системы существенно отличаются своими оптическими схемами: системы с увеличенными и экстремально короткими продольными габаритами, монофокальные и панкратические системы; системы, состоящие только из сферических оптических поверхностей и включающие асферические поверхности.

Однако для многих из них представляется возможным выделить некоторые общие принципы построения, согласуемые с указанными в [1] рекомендациями.

Можно выделить следующие принципиально различные тенденции улучшения оптических характеристик объективов:

- увеличение числа элементов оптической схемы;
- введение асферических поверхностей.

Характеристики проекционных объективов

№ патента/ дата	Название	МКИ	Страна-заявитель	Оптические характеристики					Структура ОС	Наличие асф. л.
				f*/D	2ω°	f* [мм]	S'F [мм]	Длина системы L [мм]		
US 7,038,857 2.05.2006	Projection zoom lens	G02C 15/14 G02C 9/00	Тайвань Asia Optical Co.	2,4	70,0	21,3	36,5	124,2	11 линз; 2 гр (4 од; 2 од + 1 к (2 л) + 3 од)	-
US 7,324,293 29.01.2008	Wide-angle lens system	G02B 13/04 G02B 9/00	Япония Koji Kato	3,3	70,4	20,6	37,8	68,0	8 линз; 2 гр (4 од; 1 к (2 л) + 3 од)	-
US 7,580,194 25.08.2009	Projection lens with high resolution and reduced overall length	G02B 9/00	Тайвань Hon Hai Precision Industry Co.	2,6	58,6	19,7	31,8	96,3	9 линз; 2 гр (4 од; 5 од)	-
US 6,147,812 14.11.2000	Projection zoom lens system and projection apparatus	G02C 15/14	Япония Nittoh Kogaku K.K.	3,0	70,0	27,3	40,9	137,6	9 линз; 2 гр (4 од; 1 од + 2 к (2 л))	1
US 7,667,898 23.02.2010	Zoom lens and projector	G02B 15/14	Seico Epson Corporation	1,7	85,0	10,5	35,6	143,2	10 линз; 3 гр (2 од + 1 к (2 л) + 1 од; 1 од; 1 к (2 л) + 2 од)	3

Условные обозначения: гр - группа линз; л - линза; од - одиночная линза; к - склейка линз; асф. л. - асферическая поверхность;

f*/D - знаменатель относительного отверстия; f* - заднее фокусное расстояние; S'F - задний фокальный отрезок.

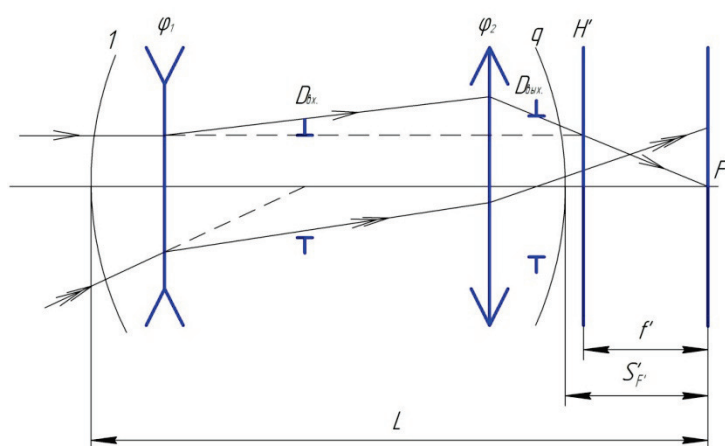
Введение дополнительных компонентов увеличивает габариты объектива, что нежелательно ввиду особенностей применения объективов данного класса. Кроме того, необходимо учитывать сложность изготовления менисковых линз, повышение чувствительности оптической системы к разъюстировке, увеличение потерь на поглощение.

Применение асферических линзовых элементов позволяет сократить продольные габариты объектива, но может существенно увеличить стоимость его изготовления (проведенный обзор позволяет утверждать, что зачастую необходимостью является применение асферики высших порядков).

В зависимости от габаритных размеров объективов можно выделить две области: 1. Системы, имеющие большие продольные габариты с коэффициентом удлинения $K_L = \frac{L}{f'} \geq 5$ и включающие не менее 8 линз (US 7,667,898); 2. Системы, имеющие уменьшенные продольные габариты ($K_L = 3,3$; US 7,324,293).

Согласно данным, представленным в патентах, объективы рассматриваются состоящими из двух групп компонентов.

Первая группа компонентов имеет отрицательную оптическую силу, вторая - положительную. Принципиальная схема такого объектива соответствует схеме реверсивного телеобъектива и представлена на рисунке.



Первая группа компонентов отрицательной оптической силы предназначена для расширения осевого пучка лучей и для развития углового поля в пространстве предметов. Вторая группа компонентов положительной оптической силы обеспечивает необходимое относительное отверстие объектива. Группы компонентов имеют принципиально различные условия работы: отрицательная группа работает с меньшим относительным отверстием D/f' и большим угловым

полем ω , а положительная – с большим относительным отверстием D/f^* и меньшим угловым полем ω .

Следует отметить, что варьируемым параметром также является положение апертурной диафрагмы. Для создания равномерной освещенности в плоскости изображения стремятся обеспечить телецентрический, или близкий к нему, ход главного луча в пространстве изображений, что обуславливает необходимость расположения выходного зрачка системы в передней фокальной плоскости второй группы компонентов.

Различия в функциональном назначении групп формируют различные требования к их абберационной коррекции. Отрицательная группа, работая с малым относительным отверстием и большим угловым полем, вносит небольшие апертурные aberrации, но требует внимания в отношении полевых aberrаций. Положительная группа работает с большим относительным отверстием и малым угловым полем, внося небольшие искажения в изображение внеосевых предметных точек, но существенно влияя на качество изображения осевой предметной точки.

Таким образом, можно утверждать, что одной из методик построения проекционной оптической системы является рассмотрение объектива, состоящего из двух групп компонентов: первая группа имеет отрицательную оптическую силу, вторая – положительную, - разделенных воздушным промежутком. Каждая группа компонентов, исходя из ее функционального назначения, может на начальном уровне рассчитываться как самостоятельная оптическая система. На конечном этапе синтезируется оптическая система, состоящая из предварительно рассчитанных групп.

Список литературы

1. Д.С. Волосов. Фотографическая оптика. – М.: Искусство, 1978.
2. В. Самохин, Н. Терехова. Видеопроекция сегодня и завтра // Журнал Техника и технология кино [Электронный ресурс], 2007.
3. «Исследование возможности создания параметрического ряда объективов с расширенным спектральным диапазоном работы» («Н-2010-09-2.4»). Отчет по НИР № ГР 012011 77489 от 01.11.2011 г. Москва, 2011г .