

## Исследование структурных свойств нормальных и светосильных широкоугольных проекционных объективов

© Т.С. Ровенская, Е.О. Ламкина

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*К современным фотографическим объективам относятся монофокальные линзовые объективы — плананастигматы, предназначенные для видеопроjectionных и репродукционных устройств. Эти объективы по значениям относительного отверстия относятся к нормальным или светосильным объективам, а по значениям углового поля в пространстве предметов — к широкоугольным объективам или к объективам с нормальным значением углового поля. При изучении патентов США отобраны описания оптических систем указанного функционального назначения, отличающихся сочетанием компактной длины и задним отрезком, который существенно превышает фокусное расстояние. В целях получения рекомендаций для разработки методики структурного синтеза указанного класса фотографических объективов выполнен анализ схем выбранных объективов в параксиальной области и в области аберраций третьего порядка.*

**Ключевые слова:** проекционный объектив, реверсивный телеобъектив, структурная схема, аберрационный анализ, суммы Зейделя.

**Введение.** В настоящее время широкое распространение получили видеопроекторы, предназначенные для различных приложений. Современный этап развития видеопроекторов проходит в направлении их миниатюризации, универсальности применения в разных мобильных устройствах, повышения показателей качества проецируемого изображения по цветопередаче, контрастности, разрешению, уровню и распределению освещенности по полю, устранению перспективных искажений. В комплексе мер, решение которых способствует прогрессу в указанных направлениях, важное место принадлежит задачам, связанным с расчетом объективов.

В настоящей работе рассматриваются объективы видеопроекторов, спроектированных по жидкокристаллической (liquid crystal display — LCD, liquid crystal on silicon — LCoS) или микрозеркальной (digital light processing — DLP) технологиям [1, 2]. Целью исследования является установление закономерностей построения структурных схем светосильных широкоугольных объективов с увеличенным задним фокальным отрезком, полезных для практических расчетов и разработки методики структурного синтеза объективов. В исследова-

нии использован метод подбора и анализа соответствующих технических решений по источникам патентной информации [3] с привлечением компьютерного моделирования с помощью универсальных пакетов прикладных программ (ППП).

**Общая характеристика проекционных линзовых монофокальных объективов.** Такие объективы являются распространенным объектом патентования в ряде стран (США, Япония, Южная Корея, Тайвань). Анализ оптических систем, представленных в современной патентной документации, показал, что в обратном ходе лучей они имеют малые значения линейного увеличения. Это позволяет рассчитывать объективы в обратном ходе лучей при удаленном положении предмета (случай «предмет в бесконечности»). Проекционные объективы имеют широкий спектр значений основных оптических характеристик: фокусное расстояние  $f' = 8...40$  мм; относительное отверстие  $D/f' = 1:4...1:1,45$ ; угловое поле в пространстве предметов  $2\omega = 115...44^\circ$ . Осевая длина объектива  $L$  (расстояние от вершины его первой поверхности до плоскости изображения) при выражении ее в долях фокусного расстояния объектива определена в диапазоне  $20...1,3$ ; это значение равно коэффициенту удлинения объектива  $K_L: K_L = L/f'$ . Задний фокальный отрезок  $S'_F$ , нормированный к фокусному расстоянию объектива, принимает значения от близкого к единице до увеличенного в кратное число раз. Объективы содержат 7–15 линз в виде одиночных и склеенных элементов, включая одну или несколько асферических линз с расположением асферических поверхностей в схемах как в пространственно разнесенных наклонных пучках, так и в зонах, близких к апертурной диафрагме (зрачкам). В качестве абберационных корректоров возможно также применение дифракционных элементов.

Среди проекционных объективов важное место занимают объективы, которые по значениям их относительного отверстия классифицируются как нормальные и светосильные ( $D/f' = 1:2,4...1:3,3$ ), по значениям углового поля в пространстве предметов — как объективы с нормальными и широкими угловыми полями ( $2\omega \geq 60^\circ...90^\circ$ ) [4]. Объективы при нахождении заднего фокусного расстояния в диапазоне значений  $15...30$  мм характеризуются увеличенным относительно фокусного расстояния значением заднего фокального отрезка  $S'_F$ . Такие объективы являются реверсивными (обратными) телеобъективами и имеют коэффициент телереверсивности  $K_F \geq 1$ ; последний равен нормированному значению отрезка  $S'_F$ :  $K_F = S'_F/f'$ . В оптических системах обеспечены высокая степень коррекции aberrаций в спектральном интервале  $0,440...0,670$  мкм ( $0,48...0,643$  мкм), стабильное значение относительной освещенности по полю изображения, а геометрическая отрицательная дисторсия находится на уровне порядка

от нескольких единиц процентов до долей процента. Оптические системы применяют в современных оптико-электронных цифровых устройствах не только в качестве проекционных, но и репродукционных и фотографических объективов.

В схемах объективов выделяют отдельные группы линз (элементов), выполняющие конкретные силовые и абберационные функции. При описании объектива различают силовую, положительную по оптической силе группу элементов, которая преимущественно определяет относительное отверстие объектива. В оптической схеме эта группа в большинстве случаев расположена после апертурной диафрагмы. Однако возможно размещение апертурной диафрагмы объектива внутри этой группы, а в отдельных случаях — и за нею. В объективе данная группа является последней по ходу лучей.

Обращенная к объекту и предшествующая рассмотренной выше группе фронтальная часть объектива наиболее часто расположена до апертурной диафрагмы объектива. Описание фронтальной части преимущественно дается в одном из двух вариантов. В первом варианте эту часть определяют как одну группу элементов, при этом оптическая сила группы может быть отрицательной, нулевой или слабо положительной. В таком случае структурная схема объектива определяется как двухгрупповая. Во втором варианте во фронтальной части выделяют две группы элементов (как правило, с отрицательной и положительной силами), расположенные в указанной последовательности. Структурная схема объектива в этом случае определяется как трехгрупповая.

Решение вопроса о структуре оптической схемы проектируемого объектива не носит формального характера, так как предопределяет возможности развития структурной модели объектива в его параметрическую модель в соответствии с комплексом требований к оптическим и качественным характеристикам объектива, а также влияет на концепцию и технологию абберационного расчета объектива [4, 5]. Таким образом, детальное изучение закономерностей, свойственных структурным схемам проекционных объективов, представляет интерес для разработки методик их проектирования.

**Структурные схемы компактных проекционных объективов.**  
**Параметры структурных схем.** В зависимости от осевой длины объективов можно выделить два семейства: 1) объективы, имеющие относительно большую длину (коэффициент удлинения  $K_L > 5$ ); 2) объективы с уменьшенными продольными габаритами (коэффициент удлинения  $K_L \sim 5$  и меньше).

Принимая во внимание важность задач обеспечения компактности объективов, предметом исследования структурных и абберационных свойств в настоящей работе являются объективы второго се-

мейства. К ним относятся объективы, представленные в патентах США № 6147812 [6], 7038857 [7], 7580190[8], 7324293 [9] с коэффициентами удлинения  $K_L = 5,8 \dots 3,3$  и коэффициентами телереверсивности  $K_F = 1,5 \dots 1,8$ . В качестве метода исследования выбран анализ внешних (параксиальных) параметров и коэффициентов аберраций первого и третьего порядков структурных групп объективов. Результаты исследований представлены для оптических систем по патентам США № 7580190 [8] и 7324293[9], обозначенных далее как ОС1 и ОС2 (табл. 1). На рис. 1 приведены соответствующие оптические схемы, на которых показан ход лучей осевого и внеосевого пучков.

Таблица 1

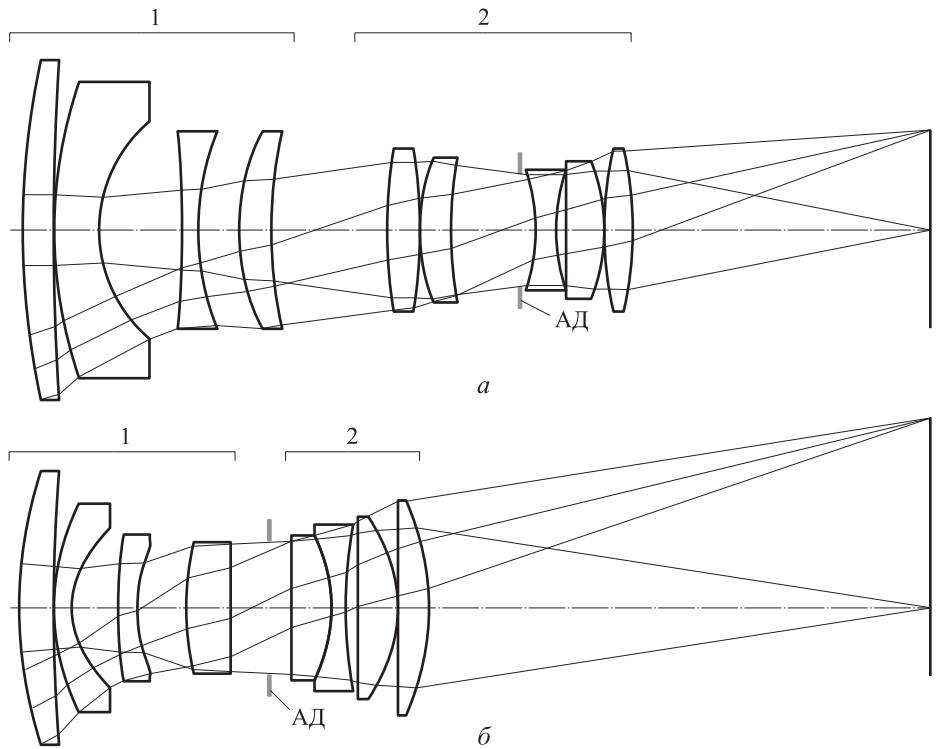
**Оптические и габаритные характеристики  
проекторных объективов ОС1и ОС2**

Характеристика	Вариант объектива	
	ОС1	ОС2
Число линз	9	8
Знаменатель относительного отверстия $f'/D$	2,6	3,3
Угловое поле $2\omega$ , град.	58,6	70,4
Заднее фокусное расстояние $f'$ , мм	19,73	19,94
Задний фокальный отрезок $S'_F$ , мм	31,8	36,4
Длина $L$ , мм	96,3	65,6
Коэффициент:		
$K_L$	4,9	3,3
$K_F$	1,6	1,8

Согласно патентам, схемы исследованных объективов состоят из двух групп оптических элементов (группы 1 и 2).

В ОС1 силовая группа 2 представляет собой композицию с внутренним расположением апертурной диафрагмы. Такая конструкция группы генетически близка к схемам светосильных объективов с малыми и средними полями [4]. Группа 2 дополнена фронтальной группой 1 с отрицательной оптической силой, увеличивающей угловое поле объектива и способствующей достижению в нем соотношений реверсивного телеобъектива.

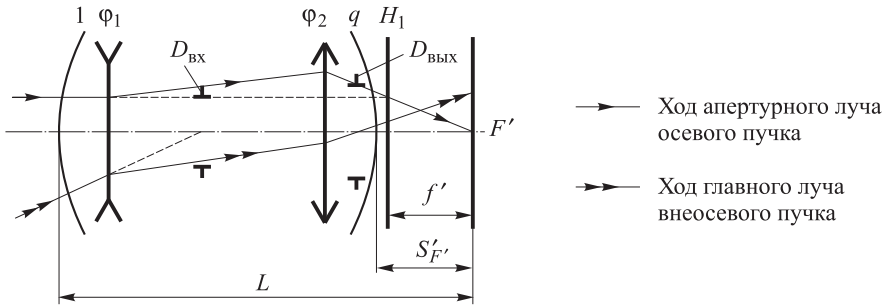
В ОС2 группа 2 элементов композиционно может быть охарактеризована как родственная объективам с вынесенной в пространство предметов апертурной диафрагмой. Как и в ОС1, эта силовая группа дополнена фронтальной группой с отрицательной оптической силой, выполняющей функции, которые аналогичны фронтальной группе системы ОС1.



**Рис. 1.** Принципиальная схема объективов ОС1 (а) и ОС2 (б) с ходом лучей осевого и внеосевого пучков лучей:  
 1 — отрицательная фронтальная группа элементов; 2 — положительная силовая группа элементов; АД — апертурная диафрагма объектива

Рассмотренные схемы являются современной реализацией изложенной в [4, 5] общей концепции построения структурных схем проекционных объективов с определенным ранее набором оптических характеристик при требовании обеспечения телереверсивности. Структурная схема таких объективов соответствует схеме двухкомпонентного реверсивного телеобъектива (рис. 2). Группы (компоненты) реверсивного телеобъектива имеют принципиально различные условия: отрицательная группа работает с меньшим относительным отверстием и большим угловым полем, а положительная — с большим относительным отверстием и меньшим угловым полем.

Схема типа ОС1 имеет преимущества для развития относительного отверстия объектива, в частности, ее применение обеспечивает создание светосильных объективов ( $D/f' = 1:2,6$  [8]). При использовании схемы типа ОС2 в объективе достигнуто широкое угловое поле ( $2\omega = 70,4^\circ$ ) и экстремально низкое значение общей длины ( $K_L = 3,3$ ) при высоком значении коэффициента телереверсивности ( $K_F = 1,8$ ). Однако по сравнению со схемой ОС1 в схеме ОС2 существенно снижено относительное отверстие ( $D/f' = 1:3,3$ ).



**Рис. 2.** Принципиальная схема двухгруппового реверсивного телеобъектива с внутренним расположением входного зрачка:

$\varphi_1, \varphi_2$  — оптические силы отрицательной и положительной групп объектива длиной  $L$ , имеющего фокусное расстояние  $f'$  и задний фокальный отрезок  $S'F'$ .

Придерживаясь сформулированного принципа структурного деления, на основании параметрических описаний объективов с помощью ППП ZEMAX определены внешние параметры структурных схем объективов:

- кардинальные элементы (положение главных плоскостей) групп и объектива —  $H_1, H_1', H_2, H_2', H_e, H_e'$ ; фокальных плоскостей групп и объектива —  $F_1, F_1', F_2, F_2', F_e, F_e'$ ;
  - приведенные оптические силы групп  $\varphi_i = \Phi_i / \Phi_\Sigma$ , где  $\Phi_i = 1/f_i'$ ;
  - нормированное расстояние  $d/f'$  между задней главной плоскостью  $H_1'$  группы 1 и передней главной плоскостью  $H_2$  группы 2;
  - отрезки, определяющие положение входного и выходного зрачков для каждой группы элементов ( $a_{p1}, a'_{p1}, a_{p2}, a'_{p2}$ ), выраженные в долях фокусного расстояния объектива;
  - линейные увеличения в зрачках для каждой группы —  $\beta_{p1}, \beta_{p2}$  соответственно;
  - линейное  $\beta_2$  и продольное  $\alpha_2$  увеличения для группы 2.
- Значения внешних параметров схем приведены в табл.2.

Таблица 2

**Значения внешних параметров проекционных объективов ОС1 и ОС2**

Объектив	$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\frac{d}{f'}$	$\frac{a_{p1}}{f'}$	$\frac{a'_{p1}}{f'}$	$\beta_{p1}$	$\frac{a_{p2}}{f'}$	$\frac{a'_{p2}}{f'}$	$\beta_{p2}$	$\beta_2$	$\alpha_2$
ОС1	-0,67	0,71	2,0	0,9	2,3	2,6	0,4	0,3	0,8	-0,7	0,5
ОС2	-0,32	0,80	2,1	1,1	3,2	1,5	0,7	0,5	1,7	-0,3	0,09

На основании полученных результатов построены графические модели в виде систем главных плоскостей, спроецированных на контуры реальных оптических систем (рис. 3). Положение главных плоскостей скоординировано относительно контуров реальных гра-

ниц групп, заданных сечениями принадлежащих им первой и последней поверхностям. Показаны положение и поперечные размеры (диаметры) входного и выходного зрачков для каждой группы элементов и объектива, положения фокусов структурных групп и объектива, а также плоскости изображения при расположении плоскости предметов в бесконечности. На рис. 3 показан также ход верхнего луча осевого пучка (апертурного луча  $\rightarrow$ ) и главного луча внеосевого пучка (полевого луча  $\rightarrow\rightarrow$ ).

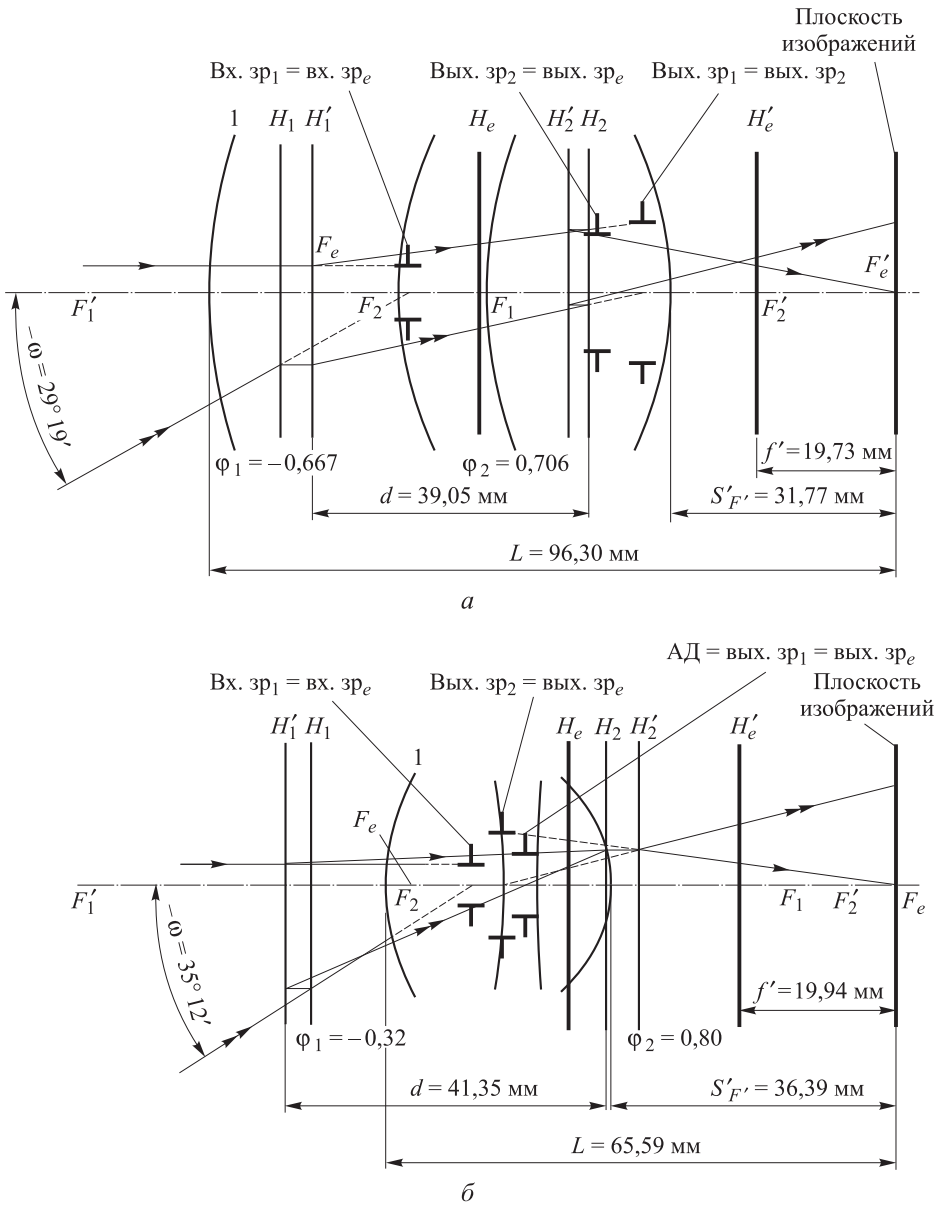


Рис. 3. Схема объективов OC1 (а) и OC2 (б) с показом главных плоскостей структурных групп и хода апертурного и полевого лучей

Особенностью рассматриваемых схем компактных объективов является невыполнение в них условия телецентрического хода главных лучей в пространстве изображений.

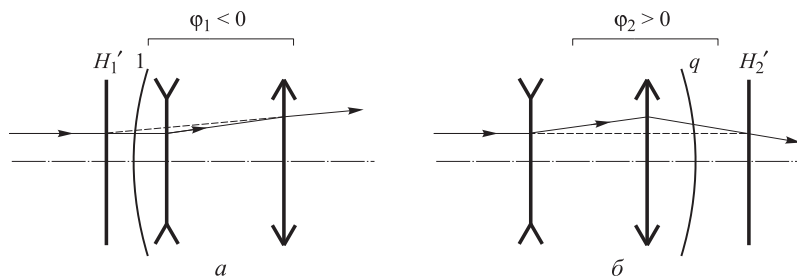
В ОС1 оптические силы групп приблизительно равны по модулю и находятся в диапазоне значений  $0,6 \dots 0,7$ ; реверсивность схемы обеспечена за счет значительного разнесения главных плоскостей групп 1 и 2, а именно на расстояние порядка  $2,0f'$ . Главные плоскости каждой группы удалены друг от друга на незначительное расстояние и размещены внутри реальной конструкции соответствующей группы. Такое расположение главных плоскостей приводит к некоторому увеличению продольного размера и уменьшению выноса поверхности изображения в параметрически описанном объективе по сравнению с его структурной моделью, заданной в виде совмещенных главных плоскостей групп, которые находятся на конечном расстоянии друг от друга. На этапе параметрического синтеза наблюдается некоторое увеличение продольного размера объектива и уменьшение выноса поверхности изображения по сравнению с их значениями в структурной модели. В данных условиях требуется соответствующая корректировка значений внешних параметров в исходной модели. Входной зрачок группы 1 размещен за ней, а выходной зрачок объектива — с углублением в тело объектива (влево от последней поверхности объектива). Такое расположение благоприятно для достижения телецентричности хода главных лучей внеосевых пучков в пространстве изображений. Отмеченные закономерности сохраняются также в упомянутых выше объективах (патенты США № 6147812 и 7038857). Для этих систем увеличение в зрачках лежит в диапазоне значений  $3,2 \dots 2,6$  для группы 1 и в диапазоне  $0,5 \dots 0,8$  — для группы 2. Некоторого сокращения продольного габарита объектива можно достичь при реверсивном положении главных плоскостей в пределах группы. В частности, такое размещение главных плоскостей имеет место в группе 2 системы ОС1.

В результате операции свертки оптической системы ОС2 до главных плоскостей выявлены следующие закономерности в ее структурной схеме (см. табл. 2, рис. 3, б). Существенное сокращение реальной длины объектива обеспечивается за счет выноса за пределы реальной системы главных плоскостей группы 1 (в пространство предметов) и главных плоскостей группы 2 (в пространство изображений объектива) при сохранении значительного расстояния между задней главной плоскостью группы 1 и передней главной плоскостью группы 2. Входной и выходной зрачки находятся внутри объектива между группами. Значения модулей оптических сил групп характеризуются асимметрией: модуль оптической силы отрицательной группы более чем в 2 раза меньше оптической силы положительной группы. Таким образом, по сравнению со структурной схемой ОС1



структурная схема ОС2 трансформирована в направлении снижения модуля оптической силы отрицательной группы при значительном расстоянии между главными плоскостями групп. По сравнению со схемой ОС1 изменен акцент в функциях групп при обеспечении оптических характеристик объектива, в то же время уменьшено значение такой характеристики, как линейное увеличение  $\beta_2$  силовой группы, снижено значение линейного увеличения в зрачках для группы 1 и увеличено — для группы 2. Такое изменение расценивается как эффективное, если требуется уменьшить угол главного луча внеосевого пучка с оптической осью в пространстве изображений.

Для достижения указанного выше эффекта — сокращения длины параметрически описанного объектива по сравнению с его структурной моделью, заданной в виде расположенных на конечном расстоянии друг от друга совмещенных главных плоскостей двух групп, при проектировании первой группы модели следует предусмотреть наличие двух подгрупп. Эти подгруппы отрицательной и положительной оптических сил определены совмещенными главными плоскостями, отстоящими одна от другой на конечное расстояние. В случае эквивалентной фронтальной группы отрицательной оптической силы они образуют структуру типа отрицательного реверсивного телеобъектива. Это позволяет вынести заднюю главную плоскость фронтальной группы в пространство предметов. Переход от фронтальной группы с малой по абсолютной величине оптической силой к образующим ее двум силовым подгруппам аналогичен переходу к трехгрупповой структуре или к структуре, включающей квазителескопическую фронтальную часть и силовую группу. Последняя также может состоять из отрицательной и положительной подгрупп, заданных совмещенными главными плоскостями, которые отстоят друг от друга на конечное расстояние с тенденцией к структуре обратного телеобъектива. В этом случае при положительной оптической силе группы ее задняя главная плоскость смещается вправо (рис. 4).

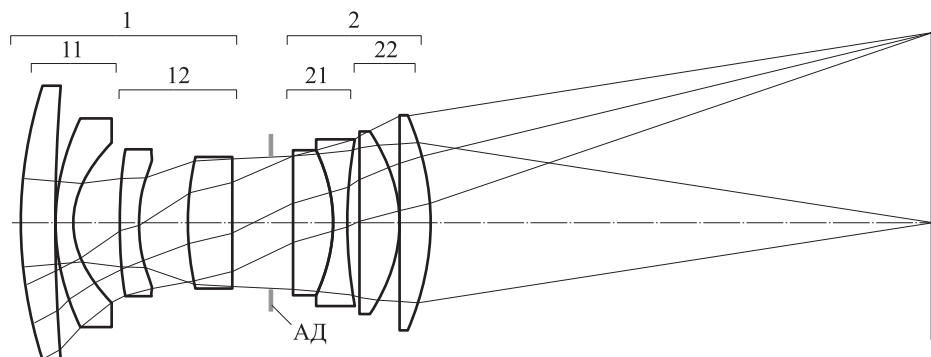


**Рис. 4.** Строение модели в виде двух подгрупп отрицательной (а) и положительной (б) групп двухгруппового объектива:

$\varphi_1, \varphi_2$  — оптические силы отрицательной и положительной групп объектива;  $H'_1, H'_2$  — задняя главная плоскость группы 1 объектива и задняя главная плоскость группы 2 объектива;  $q$  — последняя поверхность объектива

**Особенности исправления объективов в области aberrаций первого и третьего порядков.** Продольное увеличение группы 2 систем ОС1 и ОС2 имеет значение меньше единицы, что позволяет снизить требования к значениям продольных aberrаций группы 1. Продольное увеличение  $\alpha_2$  в системе ОС2 имеет существенно меньшее значение, чем в системе ОС1. Тогда в системе ОС2 создаются более благоприятные условия для исправления aberrаций в группе 1. Однако при этом предъявляют более жесткие требования к исправлению aberrаций группы 2.

В целях исследования принципов aberrационного исправления объективов получены распределения aberrационных коэффициентов (монокроматических сумм  $S_I, S_{II}, S_{III}, S_{IV}, S_V$  aberrаций третьего порядка и хроматических сумм  $S_{I\text{хр}}, S_{II\text{хр}}$  aberrаций первого порядка) по оптическим поверхностям, отдельным элементам (одиночным и склеенным линзам), выделенным структурным группам и подгруппам, а также рассчитаны значения указанных сумм в целом для объективов. Соответствующие значения для оптической системы ОС2 приведены в табл. 3. На рис. 5 показаны выделенные структурные единицы — группы и подгруппы.



**Рис. 5.** Группы и подгруппы оптических элементов, выделенные в схеме объектива ОС2:

1 — отрицательная фронтальная группа; 2 — положительная силовая группа; АД — апертурная диафрагма объектива ОС2; 11, 12 — подгруппы группы 1; 21, 22 — подгруппы группы 2

По данным табл. 3 видно, что коррекция aberrаций в оптической системе осуществлена по принципу взаимной компенсации aberrаций, вносимых структурными группами. Исключение составляет вторая хроматическая сумма  $S_{II\text{хр}}$ , для которой имеет место суммирование коэффициентов одного знака. Однако при этом в каждой группе достигают достаточно низкого уровня их значений. Суммы Зейделя каждой группы в отдельности имеют определенный уровень (для группы 1 — первая, четвертая, пятая монокроматические суммы и

**Распределение аберрационных коэффициентов  
первого и третьего порядков по оптическим элементам,  
подгруппам и группам в объективе ОС2**

Номер поверхности														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$S_I$														
0,0005	-0,1078		-0,2898		0,3207		-0,2071			0,1612	0,1627			
-0,1073			0,0309									0,3239		
-0,0764							0,1168							
0,0404														
$S_{II}$														
0,0013	0,0490		0,0113		0,1342		-0,2121			0,0566	-0,0325			
0,0503			0,1455									0,0241		
0,1958							-0,1880							
0,0078														
$S_{III}$														
0,0527	-0,0121		0,0556		0,0323		-0,3463			0,1972	0,0165			
0,0406			0,0879									0,2128		
0,1285							-0,1335							
-0,0050														
$S_{IV}$														
0,0395	-0,1431		-0,1337		0,1405		-0,0915			0,1295	0,0848			
-0,1036			0,0068									0,2143		
-0,0968							0,1228							
0,0260														
$S_V$														
-0,5492	0,5411		0,2267		-0,2587		-0,3586			0,4117	0,2061			
-0,0081			-0,0320									0,6178		
-0,0401							0,2592							
0,2191														
$S_{I\text{xp}}$														
-0,0023	0,0091		0,0118		-0,0392		0,0497			-0,0153	-0,0179			
0,0068			-0,0274									-0,0332		
-0,0206							0,0165							
-0,0041														
$S_{II\text{xp}}$														
0,0057	-0,0176		-0,0119		0,0201		0,0191			-0,0088	-0,0127			
-0,0119			0,0082									-0,0215		
-0,0037							-0,0024							
-0,0061														
<p><i>Обозначения:</i> <math>S_I, S_{II}, S_{III}, S_{IV}, S_V</math> — суммы Зейделя монохроматических аберраций третьего порядка; <math>S_{I\text{xp}}, S_{II\text{xp}}</math> — суммы Зейделя хроматических аберраций первого порядка.</p>														

первая и вторая хроматические суммы; все суммы группы 2 элементов) с обеспечением компенсации в пределах группы. Компенсационное решение в группе 2 получают при более высоких значениях абберационных коэффициентов, соответствующих отдельным элементам группы, особенно для второй, третьей и пятой сумм. Группа 1 рассчитывается с низким уровнем дисторсии.

**Заключение.** Таким образом, можно утверждать, что в качестве исходной модели при разработке малогабаритных проекционных светосильных и нормальных объективов с широкими и нормальными угловыми полями и увеличенным задним отрезком может быть принята структурная модель из двух групп оптических элементов. На этапе определения внешних параметров эти группы можно представить в виде главных плоскостей с незначительным расстоянием между ними вплоть до модели тонких групп, разделенных воздушным промежутком конечной величины со значением 2,0 и выше. Группа 1 имеет отрицательную оптическую силу, группа 2 — положительную величиной 0,8...0,6. Каждая группа элементов со своим набором оптических характеристик может быть синтезирована на начальном этапе как самостоятельная оптическая система с рассмотренными выше принципиальными типами конструкций положительной группы при приемлемом уровне исправления групп в области низших порядков монохроматических и хроматических aberrаций. Выбор типа конструкции положительной группы зависит от значений таких оптических характеристик объектива, как его относительное отверстие и угловое поле.

Для создания более компактных систем рекомендуется строить отрицательную группу объектива по типу реверсивного отрицательного телеобъектива с тенденцией к трансформации схемы объектива в виде совокупности квазителескопической системы и силовой положительной группы. Как и в рассмотренном выше случае, положительную группу можно проектировать по типу объектива с внутренним расположением апертурной диафрагмы или объектива с апертурной диафрагмой, вынесенной в пространство предметов. В свою очередь, она также может быть спроектирована по типу реверсивного телеобъектива, т. е. состоящей из отрицательной и положительной подгрупп элементов, расположенных на конечном расстоянии относительно друг друга. Таким образом, при структурном синтезе компактного объектива с многоплановым набором требований к его характеристикам целесообразен переход от двухгрупповой структурной схемы к трехгрупповой или четырехгрупповой схеме.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сыроева С. МОЕМС — доступные технологии генерации и сканирования оптической информации. *Компоненты и технологии*, 2010, № 8, с. 33–40.
- [2] Самохин В., Терехова Н. Видеопроекция сегодня и завтра. *Техника и технология кино*, 2007. URL: <http://rus.625-net.ru/cinema/2007/05/tehnو.htm> (дата обращения 11.08.2013).
- [3] Электронный ресурс: Патентное бюро США. URL: <http://www.uspto.gov/> (дата обращения 11.08.2013).
- [4] Волосов Д.С. *Фотографическая оптика*. Москва, Искусство, 1978, 543 с.
- [5] Иванов П.Д. *Некоторые особенности расчета широкоугольных и светосильных объективов*. Автореф. ... дис. канд. техн. наук. Москва, МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1964, 16с.
- [6] Narimatsu et al S. *Projection zoom lens system and projector apparatus*. Patent No. US 6,147,812, Nov. 14, 2000. URL: <http://www.uspto.gov/> (дата обращения 11.08.2013).
- [7] Kuo C.-Y. *Projection zoom lens*. Patent No. US 7,038,357, May 2, 2006. URL: <http://www.uspto.gov/> (дата обращения 11.08.2013).
- [8] Lin C.-L. *Projection lens with high resolution and reduced overall length*. Patent No. US 7,580,194, Aug. 25, 2009. URL: <http://www.uspto.gov/> (дата обращения 11.08.2013).
- [9] Kato K. *Wide-angle lens system*. Patent No. US 7,324,293, Jan. 29, 2008. URL: <http://www.uspto.gov/> (дата обращения 11.08.2013).

Статья поступила в редакцию 24.06.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Ровенская Т.С., Ламкина Е.О. Исследование структурных свойств нормальных и светосильных широкоугольных проекционных объективов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 7.

URL: <http://engjournal.ru/catalog/pribor/optica/829.html>

**Ровенская Тамара Сергеевна** родилась в 1947 г., окончила МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1970 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры «Оптико-электронные приборы научных исследований» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: проектирование оптико-электронных устройств и систем, абберационные расчеты оптических систем. e-mail: [rovts@yandex.ru](mailto:rovts@yandex.ru)

**Ламкина Елена Олеговна** родилась в 1991 г., студентка 6-го курса кафедры «Оптико-электронные приборы научных исследований» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: проектирование оптико-электронных устройств и систем, включая абберационные расчеты. e-mail: [elena.lamkina@yandex.ru](mailto:elena.lamkina@yandex.ru)