

УДК 535.317

**Исследование влияния отрицательного сферического компонента первой группы
на дисторсию в двух групповом реверсивном телеобъективе**

М.В. Евстროпова

Студент, кафедра «Опτικο-электронные приборы научных исследований»

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

*Научный руководитель: Ровенская Т.С., к.т.н., доцент кафедры «Опτικο-электронные
приборы научных исследований» МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия*

МГТУ им. Н.Э. Баумана

evstropova@ya.ru

В настоящее время проекционная техника широко представлена на рынке электроники. Почти все современные проекторы реализованы по жидкокристаллической или микрзеркальной технологии. Вне зависимости от класса и типа проектора в состав его оптической схемы непременно входит проекционный объектив, существенным образом определяющий характеристики устройства.

Существующие проекционные объективы видеопроекторов высокого разрешения отличаются конструктивной и технологической сложностью оптических схем, которая характеризуется большим числом входящих в ее состав элементов, использованием от одной до нескольких асферических линз (АЛ), ограниченных одной или двумя асферическими поверхностями высших порядков [1]. Одним из типичных проекционных объективов является объектив, описанный в патенте № US7667898 [2]. Он предназначен для проекции изображений, формируемых жидкокристаллическими панелями. Объектив обеспечивает переменные значения фокусного расстояния; переходы между дискретными состояниями осуществляются путем перемещения линз №5–8. Рассмотрим фиксированное положение, при котором объектив имеет угловое поле в пространстве предметов и заднее фокусное расстояние соответственно равными $2\omega=62.9^\circ$ и $f'=15.75$ мм.

В этом положении знаменатель относительного отверстия равен $k=1.93$, что позволяет отнести выбранный вариант к особо светосильным объективам, а по значению поля – к широкоугольным объективам [3]. Оптическая схема рассматриваемого проекционного объектива представлена на рисунке.

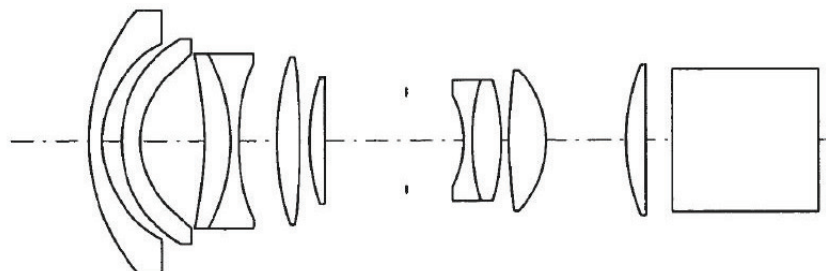


Рис. 1. Оптическая схема проекционного объектива по патенту №US7667898
(вариант)

В схеме использованы две АЛ, одна из которых находится в первой отрицательной по оптической силе группе элементов, расположенных до апертурной диафрагмы, а вторая, имеющая одну асферическую поверхность, – во второй положительной по оптической силе группе элементов, размещенной за апертурной диафрагмой. Все три асферические поверхности являются поверхностями высших порядков и на рис.1 соответствуют поверхностям с номерами №3, №4, №15 (по ходу светового луча). Объектив характеризуется общей длиной 142.58 мм (оценивается от вершины первой поверхности до плоскости изображения в соответствующем рис. 1 направлении) и увеличенным по отношению к его фокусному расстоянию задним фокальным отрезком, достаточным для размещения смесительной призмы. Структурная схема варианта объектива соответствует схеме двухгруппового реверсивного телеобъектива [3]. В пространстве изображений формируется квазителецентрический ход главных лучей внеосевых пучков. Рассматриваемый вариант объектива обладает высокой степенью исправления: размер пятна рассеяния для точки на оси для основной длины волны не превышает 5 мкм, размер пятна рассеяния для точки вне оси для основной длины волны не превышает 7 мкм для зоны поля $\omega=14,22^\circ$, дисторсия объектива, не превышает 2,5%, продольная сферическая aberrация данного объектива менее 0,05 мм по абсолютной величине. Однако наличие асферических поверхностей может ограничить практическое применение данного схемного решения.

Асферические поверхности №3 и №4 (рис.1) оказывают сильное влияние на коррекцию aberrаций наклонных пучков, и в частности, на дисторсию. При этом принципиально известно, что действие АЛ, влияющей на дисторсию, может быть заменено действием по меньшей мере двух сферических линз с сохранением оптической

силы исходной АЛ без потери качества изображения в части исправления дисторсии [4]. Таким образом, возник интерес к исследованию возможности замены в рассматриваемой схеме АЛ №2, ограниченной двумя асферическими поверхностями высшего порядка, сферическими линзами, с сохранением при этом степени исправления оптической системы в отношении дисторсии третьего порядка.

В рассматриваемой оптической системе АЛ №2 обладает отрицательной оптической силой. Следовательно, существует два принципиально возможных случая замены ее двумя сферическими с сохранением исходного значения оптической силы: 1) линза заменяется двумя сферическими отрицательными линзами, 2) линза заменяется положительной и отрицательной линзами. Для исследования выбран вариант 1), для которого рассмотрены четыре сочетания прогибов сферических линз: а) обе линзы имеют форму менисков с выпуклостью в сторону объекта (выпукло-вогнутую форму); б) обе линзы имеют форму менисков с вогнутостью в сторону объекта (вогнуто-выпуклую форму); в) первая линза вогнуто-выпуклой формы, вторая линза имеет выпукло-вогнутую форму; г) первая линза имеет выпукло-вогнутую форму, вторая линза имеет вогнуто-выпуклую форму. Радиусы кривизны сферических линз определяются из условия обеспечения такой же оптической силы, которой обладает АЛ, считая ее тонкой:

$$\Phi_{\text{№2 асф.л.}} = (n - 1) \cdot \left(\frac{1}{r_{3 \text{ исх}}} - \frac{1}{r_{4 \text{ исх}}} \right). \quad (1)$$

Для простоты положим, что оптические силы сферических линз равны:

$$\Phi_{\text{№2}_1 \text{ сф.л.}} = \Phi_{\text{№2}_2 \text{ сф.л.}} = \frac{\Phi_{\text{№2 асф.л.}}}{2}.$$

Зная $\Phi_{\text{№2}_1 \text{ сф.л.}}$, $\Phi_{\text{№2}_2 \text{ сф.л.}}$ и задаваясь r_3 и r_5 , можно определить r_4 и r_6 :

$$r_4 = \left(\frac{1}{r_3} - \frac{\Phi_{\text{№2}_1 \text{ сф.л.}}}{n - 1} \right)^{-1} \quad \text{и} \quad r_6 = \left(\frac{1}{r_5} - \frac{\Phi_{\text{№2}_2 \text{ сф.л.}}}{n - 1} \right)^{-1}.$$

Значения толщин линз и воздушных промежутков в регионе введения заменяющих сферических линз определялись из конструктивных условий и не являются сильными абберрационными параметрами. Тестовый вариант объектива и соответствующие ему тестовые значения сумм определялись для преобразованного исходного варианта объектива, полученного путем замены АЛ №2 на одиночный оптический элемент, ограниченный сферическими поверхностями с радиусами кривизны, равными радиусам кривизны в вершинах асферических поверхностей. Зависимость абберрационных коэффициентов Зейделя (пятой суммы) от сочетания прогибов линз и радиусов кривизны

поверхностей введенных сферических линз представлена в данных таблиц 1 – 4, в которых приведены значения анализируемых коэффициентов по поверхностям (поверхностных коэффициентов). Здесь же приведены значения поверхностных коэффициентов для одиночной линзы тестового варианта. Оценка эффективности выполненной модернизации производится сравнением суммарных значений пятой суммы, вносимой в объектив в тестовом и модернизированных вариантах. Расчеты выполнены с помощью ППП «ZEMAX».

Таблица 1

Конструктивные параметры	Распределение S_V по поверхностям
Исходная оптическая система	$S_{V3} = -0.799463$, $S_{V4} = 0.444195$
$r_3 = 48$ мм, $r_4 = 32.1487$ мм $r_5 = 33$ мм, $r_6 = 24.2167$ мм	$S_{V3} = 0.044209$, $S_{V4} = -0.000259$ $S_{V5} = 0.012237$, $S_{V6} = 0.016346$
$r_3 = 27$ мм, $r_4 = 20.5401$ мм $r_5 = 21$ мм, $r_6 = 16.5141$ мм	$S_{V3} = -0.035334$, $S_{V4} = 0.092191$ $S_{V5} = -0.058153$, $S_{V6} = 0.097723$
$r_3 = 25$ мм, $r_4 = 19.2393$ мм $r_5 = 20$ мм, $r_6 = 15.8056$ мм	$S_{V3} = -0.054985$, $S_{V4} = 0.118362$ $S_{V5} = -0.072161$, $S_{V6} = 0.114252$

Таблица 2

Конструктивные параметры	Распределение S_V по поверхностям
Исходная оптическая система	$S_{V3} = -0.799463$, $S_{V4} = 0.444195$
$r_3 = -45$ мм, $r_4 = -80.6844$ мм $r_5 = -81$ мм, $r_6 = -356.5960$ мм	$S_{V3} = 0.347279$, $S_{V4} = -0.164382$ $S_{V5} = 0.166474$, $S_{V6} = -0.076867$
$r_3 = -40$ мм, $r_4 = -66.4382$ мм $r_5 = -68$ мм, $r_6 = -192.4610$ мм	$S_{V3} = 0.382515$, $S_{V4} = -0.182466$ $S_{V5} = 0.181794$, $S_{V6} = -0.084809$
$r_3 = -30$ мм, $r_4 = -43.6245$ мм $r_5 = -45$ мм, $r_6 = -80.6844$ мм	$S_{V3} = 0.487552$, $S_{V4} = -0.238891$ $S_{V5} = 0.231327$, $S_{V6} = -0.108676$

Таблица 3

Конструктивные параметры	Распределение S_V по поверхностям
Исходная оптическая система	$S_{V3} = -0.799463$, $S_{V4} = 0.444195$
$r_3 = 27$ мм, $r_4 = 20.5401$ мм	$S_{V3} = -0.040080$, $S_{V4} = 0.098275$

$r_5 = -30 \text{ мм}, r_6 = -43.6245 \text{ мм}$	$S_{V5} = 0.321210, S_{V6} = -0.154771$
$r_3 = 30 \text{ мм}, r_4 = 22.4191 \text{ мм}$ $r_5 = -25 \text{ мм}, r_6 = -34.3494 \text{ мм}$	$S_{V3} = -0.019370, S_{V4} = 0.069699$ $S_{V5} = 0.394956, S_{V6} = -0.192955$
$r_3 = 45 \text{ мм}, r_4 = 30.6890 \text{ мм}$ $r_5 = -22 \text{ мм}, r_6 = -29.3191 \text{ мм}$	$S_{V3} = 0.027188, S_{V4} = 0.013194$ $S_{V5} = 0.463716, S_{V6} = -0.229028$

Таблица 4

Конструктивные параметры	Распределение S_V по поверхностям
Исходная оптическая система	$S_{V3} = -0.799463, S_{V4} = 0.444195$
$r_3 = -27 \text{ мм}, r_4 = -37.9172 \text{ мм}$ $r_5 = 30 \text{ мм}, r_6 = 22.4191 \text{ мм}$	$S_{V3} = 0.539479, S_{V4} = -0.261120$ $S_{V5} = 0.003727, S_{V6} = 0.027347$
$r_3 = -27 \text{ мм}, r_4 = -37.9172 \text{ мм}$ $r_5 = 25 \text{ мм}, r_6 = 19.2393 \text{ мм}$	$S_{V3} = 0.533574, S_{V4} = -0.255269$ $S_{V5} = -0.015757, S_{V6} = 0.055111$
$r_3 = -25 \text{ мм}, r_4 = -34.3494 \text{ мм}$ $r_5 = 20 \text{ мм}, r_6 = 15.8056 \text{ мм}$	$S_{V3} = 0.573350, S_{V4} = -0.272092$ $S_{V5} = -0.055938, S_{V6} = 0.121017$

Данные, представленные в таблицах 1–4, показывают принципиальную возможность путем введения двух сферических линз с одинаковыми по знаку оптическими силами, изменять вносимую ими дисторсию третьего порядка в значительном диапазоне значений при одновременном изменении уровня вносимых линзами aberrаций высших порядков. Последний вывод сделан с учетом изменения уровня числовых значений поверхностных коэффициентов.

Список литературы

1. Марчук С.М. Широкоугольный проекционный объектив для системы отображения информации // Оптический журнал. 2006, том 73, №12, с.27.
2. «Zoom lens and projector». Патент № US7667898 G02B 15/14, 23.06.2010., 23.06.2010.
3. Волосов Д.С. Фотографическая оптика. М.: Искусство, 1971.
4. Русинов М.М. Техническая оптика. Л.: Машиностроение, 1979.