

УДК 681.7.067.27

**РАСЧЕТ СВЕТОСИЛЬНОГО (1:1,2) КИНОСЪЕМОЧНОГО ОБЪЕКТИВА
С АСФЕРИЧЕСКИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ**

М.Е. Зацепина

Рассматриваются наиболее известные методы расчета оптических систем. Приведен пример расчета светосильного (1:1,2) киносъемочного объектива с $f' = 35$ мм на основе теории расчета профессора Д.С. Волосова.

Ключевые слова: методы расчета, асферические поверхности, качество изображения, контраст изображения.

В настоящее время для пленочного и цифрового кинематографа ведущими зарубежными оптическими предприятиями (такими как Carl Zeiss, Cooke, Leica, Panavision, Fujinon, Red) [1], а также отечественными предприятиями (Оптика-Элит, ОАО ЛОМО) выпускаются разнообразные особо светосильные объективы. Такие объективы обладают следующими особенностями: светосила 1:1,2, большой задний отрезок для использования объективов в пленочных камерах с объекторами; высокое качество изображения по всему полю (визуальный контраст на частоте 100 лин/мм – не менее 0,2, а на частоте 15 лин/мм – более 0,75). Конструкции подобных объективов – весьма сложные и многолинзовые. При их проектировании встает задача создания оптимальных оптических схем, минимизированных по габаритам, количеству оптических компонентов. Применение для этих целей асферических поверхностей позволяет получить требуемые оптические параметры при их наилучшей конструкции.

В сообщении рассматривается методика расчета особо светосильных объективов и приводится пример расчета объектива с относительным отверстием 1:1,2 и $f' = 35$ мм для кадра 18,6×24,5 мм.

Известны методы расчета светосильных объективов, предложенные профессорами М.М. Русиновым [2], Г.Г. Слюсаревым [3], Д.С. Волосовым. При расчете объектива был использован метод профессора Д.С. Волосова – метод расчета сложных анастигматов в области аббераций третьего порядка при помощи метода разделения коэффициентов аббераций: 1) разделение коэффициентов аббераций всей системы по ее составляющим сложным компонентам («половинкам»); 2) расчет «половинки» самостоятельно, с последующим образованием сложной системы.

Из теории аббераций известно [4], что число независимых монохроматических аббераций $(2t+1)$ -го порядка определяется в разложении Шварцшильда следующим образом [4]:

$$N_{2t+1} = \frac{(t+1) \cdot (t+4)}{2}.$$

Для аббераций третьего порядка таких аббераций $N_{III} = 5$, для аббераций пятого порядка таких аббераций $N_V = 9$, для аббераций седьмого порядка таких аббераций $N_{VII} = 14$ и т.д. Для исправления аббераций необходима оптическая система с числом коррекционных параметров $M \geq N_{\Sigma} + A$, где N_{Σ} – суммарное число аббераций; A – число габаритных параметров системы (фокусное расстояние, задний отрезок и т.д.). Обычно $A=2-3$.

В особо светосильных объективах присутствуют абберации третьего, пятого и седьмого порядков, поэтому такие объективы – многолинзовые. Например, для объектива с $f' = 35$ мм и относительным отверстием 1:1,2 со сферическими поверхностями достаточно 11 линз, выполненных в виде двух компонентов, разделенных воздушным промежутком, т.е. для этого объектива $M = 23$. Для уменьшения количества линз, например до 8, необходимо ввести асферические поверхности.

На первом этапе исследований была получена система, состоящая из 8 линз со следующими характеристиками: относительное отверстие 1:1,1 и $f' = 35,1$. В системе отсутствуют асферические поверхности. В системе наблюдается кома внеосевых пучков, велика сферическая абберация.

На втором этапе исследования изучалось влияние введения асферики 2-го порядка на поверхности. Показано, что наивысший контраст изображения наблюдается при введении асферизации на 12-й–14-й поверхностях второй половинки объектива. На краю поля наивысший контраст достигается при асферизации 13-й и 14-й поверхностей.

Сочетание асферики на 13-й и 14-й поверхностях дает возможность получить хорошее изображение не только на оси, но и для внеосевых пучков. Коэффициенты Зейделя, полученные в результате расчета, приведены в табл. 1.

	SPHA	COMA	ASTI	FCUR	DIST
13+14	0,013439	-0,065541	-0,082400	0,157234	0,493394

Таблица 1. Коэффициенты Зейделя при введении асферики на 13 и 14 поверхностях

Дисторсия составляет 3,12%. Астигматические отрезки: $Z'_m = -0,029$, $Z'_s = -0,045$. Пропускание практически не изменилось – 20,3%.

Контраст получаемого изображения в центре поля и на краю представлен в табл. 2, оптическая схема разработанного объектива – на рисунке, а коэффициенты Зейделя, полученные в результате расчета с помощью программы Zemax, сведены в табл. 3.

		$T, \% (y' = 0 \text{ мм, центр поля})$			$T, \% (y' = 12,25 \text{ мм, край поля})$					
		25 лин/мм	50 лин/мм	100 лин/мм	25 лин/мм	50 лин/мм	100 лин/мм	25 лин/мм	50 лин/мм	100 лин/мм
8 линз, 2 асф.	13,14	64,43	45,24	22,69	35,19	39,19	19,76	19,52	7,37	7,83
11 линз без асф.		60,10	41,86	21,20	59,49	48,52	31,48	34,84	8,91	16,53

Таблица 2. Контраст изображения в центре поля и на краю системы из 8 линз с двумя асфериками и системы из 11 линз без асферики

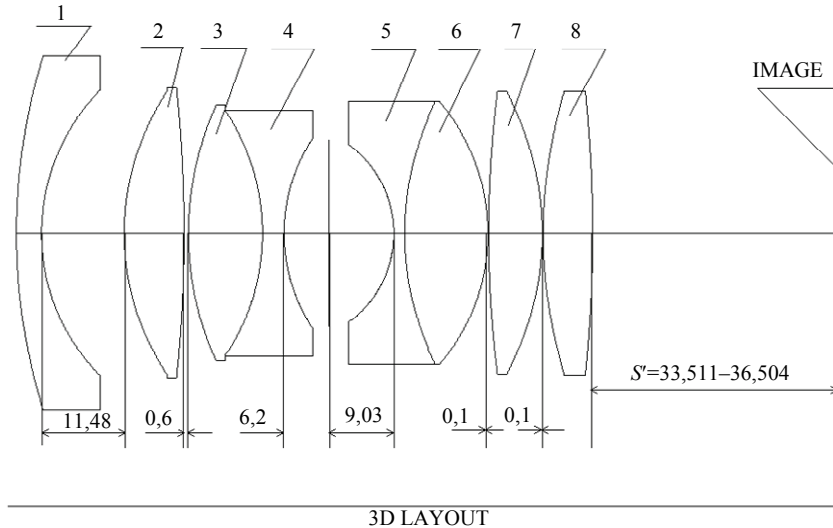


Рисунок. Оптическая схема

	Zemax	11 линз без асф.
SPHA	0,013439	0,048275
COMA	-0,065541	-0,038954
ASTI	-0,082400	-0,030266
FCUR	0,157234	0,097609
DIST	0,493394	0,579330

Таблица 3. Коэффициенты Зейделя системы из 8 линз с двумя асфериками, рассчитанной в программе Zemax и системы из 11 линз без асферики

Контраст изображения, получаемого системой из 8 линз с двумя асфериками (на 13-й и 14-й поверхности) приближен к контрасту, получаемому при использовании системы с 11 линзами без асферических поверхностей.

Параметры объектива соответствуют следующим значениям: виньетирование на краю поля зрения ($y=12,25$ мм) – 56,62%, задний отрезок, обеспечивающий установку обтюратора – 34,228 мм, диаметр передней линзы объектива – 48 мм, дисторсия (для края поля $y=15,4$ мм) – 3,13%, вес оптических компонентов по световым диаметрам – 126 г.

Таким образом, получена система, состоящая из 8 линз (рисунок), с применением двух асферических поверхностей. Конструкция новой системы позволяет уменьшить габариты системы, при заданном фокусе получить необходимое относительное отверстие, уменьшить влияние аберраций и повысить контраст получаемого изображения.

1. Справочник по кинооборудованию. Объективы для кинематографа // Техника и кино. – 2010. – № 6. – С. 50–52.
2. Русинов М.М. Техническая оптика. – Л.: Машиностроение, 1979. – 488 с.
3. Слюсарев Г. Г. Методы расчета оптических систем. – Л.: Машиностроение, 1969. – 672 с.
4. Современные методы расчета и проектирования оптических систем // Труды ГОИ. – Л.: Машиностроение, 1970. – Т. 37. – Вып. 167. – 256 с.

Зацепина Марина Евгеньевна – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, студент, marichka_z@list.ru