

ОБЪЕКТИВЫ НА ОСНОВЕ БАЗОВЫХ ЛИНЗ С АСФЕРИЧЕСКИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

© 2012 г. Н. И. Потапова, канд. техн. наук

Научно-исследовательский институт комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем, г. Сосновый Бор, Ленинградская обл.

E-mail: potap@sbor.net

Показано, что применение базовых линз с асферическими поверхностями позволяет создавать оптические системы различного назначения. Предложены конструкции офтальмологических объективов на основе использования асферических базовых линз со скомпенсированными сферической и полевыми аберрациями. Разработаны офтальмологические объективы с двумя асферическими коррекционно-силовыми поверхностями с рефракцией от 80 до 116 дптр, полем зрения 2ω от 90° до 118° .

Ключевые слова: офтальмологический объектив, базовая линза, фокусировка, асферическая поверхность, разрешающая способность, поле зрения.

Коды OCIS: 110.0110.

Поступила в редакцию 13.06.2012.

Растущие потребности в оптических системах, обладающих малыми аберрациями, требуют поиска новых схемных решений, позволяющих получать оптическое изображение высокого качества. Сферическая оптика не обеспечивает требуемые характеристики современных оптических систем, в частности объективов. Увеличение количества элементов в объективах не приводит к нужному результату. Развитие современных объективов идет по пути все более широкого использования в них оптических элементов с асферическими поверхностями. Однако изготовление таких элементов очень дорого. Применение элементов с асферическими поверхностями экономически оправдано при массовом производстве оптических элементов с асферической поверхностью одного вида [1]. С этой точки зрения, видится перспективной разработка базовых оптических элементов с асферическими профилями поверхности, пригодных для использования в оптических системах различного вида, а также разработка оптических систем на основе таких элементов. Использование базовых элементов в оптических системах со сферическими поверхностями известно [2, 3], однако базовые асферические элементы в настоящее время практически не используются.

Ранее нами были разработаны и изготовлены объективы [4–7] для фокусировки лазерно-

го излучения в пятно малого размера при использовании коррекционного элемента в виде плоскопараллельной пластины из двух стекол с профилем асферической поверхности, описываемой уравнением

$$z(h) = \sum_{i=1}^5 a_i h^{2i}, \quad (1)$$

где h – радиальная координата, $z(h)$ – профиль коррекционной поверхности,

$$a_1 = 1,6 \times 10^{-3}, a_2 = 5,56 \times 10^{-3}, a_3 = 7,64 \times 10^{-3}, \\ a_4 = 2,75 \times 10^{-3}, a_5 = 6,88 \times 10^{-4}.$$

Проведенные расчетные и экспериментальные исследования показали, что такой коррекционный элемент может успешно применяться в объективах различного назначения. Коррекционный элемент с профилем асферической поверхности (1) выполняет функции корректора сферической аберрации как в пятикомпонентном светосильном объективе для телевизионных камер [4], так и в проекционных объективах из двух линз с увеличением $-1\times$ [5–7]. При этом замена пар стекол, из которых изготавливается коррекционный элемент, позволяет использовать его в проекционных объективах с различными числовыми апертурами [7]. Такой коррекционный элемент технологи-

чен в изготовлении. Изменение коррекционной силы элемента для обеспечения компенсации сферической аберрации линзы с заданной числовой апертурой достигается только за счет изменения разницы показателей преломления составляющих коррекционный элемент стекол, а профиль асферической поверхности и толщины стекол остаются неизменными.

Ранее нами сообщалось о разработке и изготовлении однокомпонентных светосильных линз из двух стекол с волнообразной коррекционной поверхностью, полученной с помощью спекания и горячего формообразования [8, 9]. На базе этих линз была разработана офтальмологическая линза, состоящая из двух симметрично расположенных линз с внутренней волнообразной коррекционно-силовой поверхностью. Линзы обладали рефракцией около 60 дптр и угловым полем зрения около 60°. В качестве аналога была разработана конструкция симметричной офтальмологической линзы с внешними асферическими поверхностями. Нами была отработана технология получения асферического профиля коррекционной поверхности, как внутренней, так и внешней, дающая высокую повторяемость результатов [10]. (Следует отметить, что технологию изготовления асферических поверхностей методом горячего формообразования предложил Цветков А.Д. [11]. Все элементы с внутренними асферическими поверхностями изготавливались по технологии спекания и горячего формообразования, а с внешними поверхностями –

по технологии бесконтактного формообразования стекол, находящихся в пластическом состоянии.) Изготовленные линзы обладали разрешающей способностью около 100 штр/мм практически по всему полю зрения.

Обе конструкции линзы с двумя симметрично расположенными асферическими поверхностями (с внутренними или внешними) оказались перспективными для использования их в качестве базовых в различных схемах офтальмологических объективов.

На рис. 1 приведена оптическая схема офтальмологического объектива с рефракцией 80 дптр, использующего в качестве базовой линзы с внутренними асферическими поверхностями одного вида. Объектив имеет угловое поле зрения $2\omega = 90^\circ$, вынос зрачка 6,2 мм.

На рис. 2 приведена схема иммерсионного офтальмологического объектива (работающего при контакте с глазом пациента через иммерсионную жидкость) с рефракцией 95 дптр, угловым полем зрения $2\omega = 118^\circ$. На рисунке глаз изображен схематически в виде сферы радиусом 11,4 мм, заполненной жидкостью с показателем преломления 1,3347.

В обеих схемах использована базовая офтальмологическая линза, имеющая рефракцию около 60 дптр, с внутренней волнообразной коррекционно-силовой поверхностью вида

$$z(h) = \sum_{i=2}^{11} a_i h^i. \quad (2)$$

Здесь коэффициенты

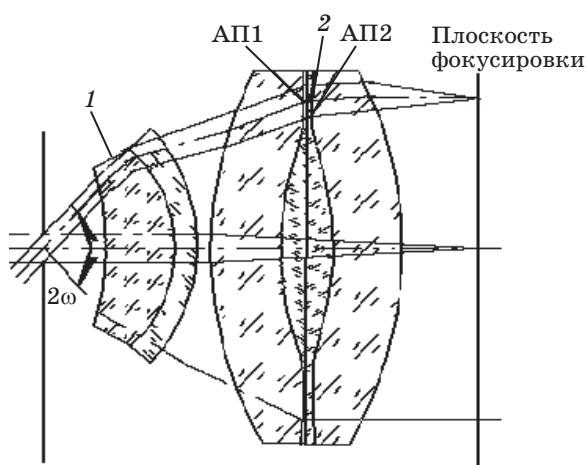


Рис. 1. Оптическая схема бесконтактного объектива с базовой линзой, имеющей две внутренние асферические поверхности АП1 и АП2. 1 – сферический склеенный положительный мениск, 2 – базовая линза, 2ω – угловое поле зрения.

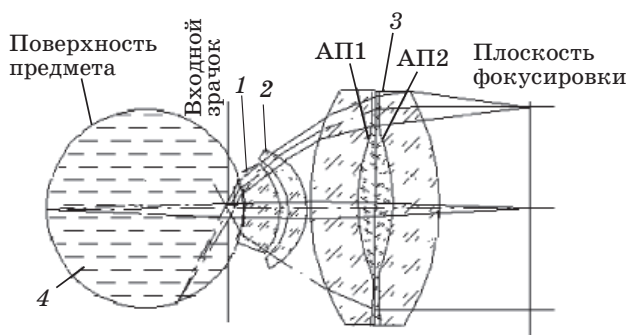


Рис. 2. Оптическая схема контактного объектива с базовой линзой. 1, 2 – сферические положительные мениски; 3 – базовая линза с двумя коррекционно-силовыми внутренними асферическими поверхностями АП1 и АП2, 4 – схематическое изображение глаза.

$$\begin{aligned}
a_2 &= 0,01863, a_3 = 0,7523 \times 10^{-3}, \\
a_4 &= -0,58876 \times 10^{-3}, a_5 = 0,1037 \times 10^{-3}, \\
a_6 &= -0,70728 \times 10^{-5}, a_7 = 0,0, \\
a_8 &= 0,19562 \times 10^{-7}, a_9 = -0,659824 \times 10^{-9}, \\
a_{10} &= 0,0, a_{11} = 1,849 \times 10^{-13}.
\end{aligned}$$

Увеличение рефракции объективов достигается добавлением к базовой линзе менисков с положительной оптической силой.

Геометрические aberrации бесконтактного (рис. 1) и контактного (рис. 2) офтальмологических объективов приведены на рис. 3 и 4 соответственно.

Аналогичные результаты получаются, если в качестве базовой использовать линзу другой конструкции, но обладающую такими же полем зрения, фокусным расстоянием, выносом зрачка, а также качеством коррекции aberrаций.

Так, в случае использования линз с внешними асферическими поверхностями в каче-

стве базовых (рис. 5 и 6) схемы офтальмологических объективов остаются аналогичными схемам, приведенным на рис. 1 и 2, также практически не изменяются их aberrационные характеристики. Объектив, схема которого приведена на рис. 5, имеет рефракцию 90 дптр и угловое поле зрения 90° . Контактный объектив (рис. 6) имеет рефракцию 116 дптр, угловое поле $2\omega = 115^\circ$.

Профили асферических поверхностей базовых линз в этом случае одинаковы и описываются полиномами следующего вида:

$$z(h) = \sum_{i=2}^9 a_i h^i, \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned}
a_2 &= -0,0292, a_3 = -8,45 \times 10^{-6}, a_4 = 3,56 \times 10^{-5}, \\
a_5 &= -5,72 \times 10^{-7}, a_6 = -2,594 \times 10^{-8}, \\
a_7 &= -7,461 \times 10^{-10}, a_8 = 2,15 \times 10^{-10}, \\
a_9 &= -9,0 \times 10^{-10}.
\end{aligned}$$

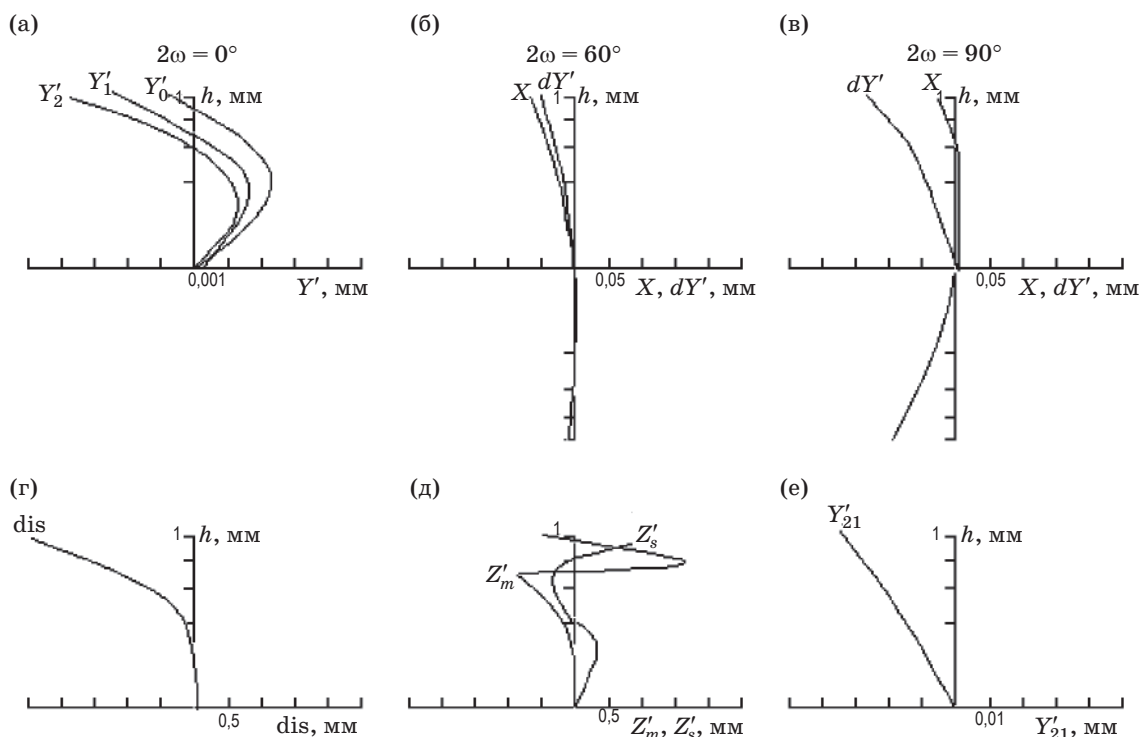


Рис. 3. Aberrационные характеристики офтальмологического объектива с волнообразной базовой линзой (по схеме на рис. 1). h – высота луча на зрачке. а – поперечная сферическая aberrация для осевого пучка (Y'_0 – для основной длины волн $\lambda_0 = 0,633$ мкм, Y'_1, Y'_2 – для дополнительных длин волн $\lambda_1 = 0,546$ мкм, $\lambda_2 = 0,589$ мкм); б, в – поперечная сферическая aberrация при двух углах поля зрения для двух взаимно перпендикулярных направлений; г – дисторсия; д – меридиональная (Z'_m) и сагиттальная (Z'_s) составляющие астигматизма; е – хроматизм увеличения – разность величин изображения для первой и второй дополнительной длины волн.

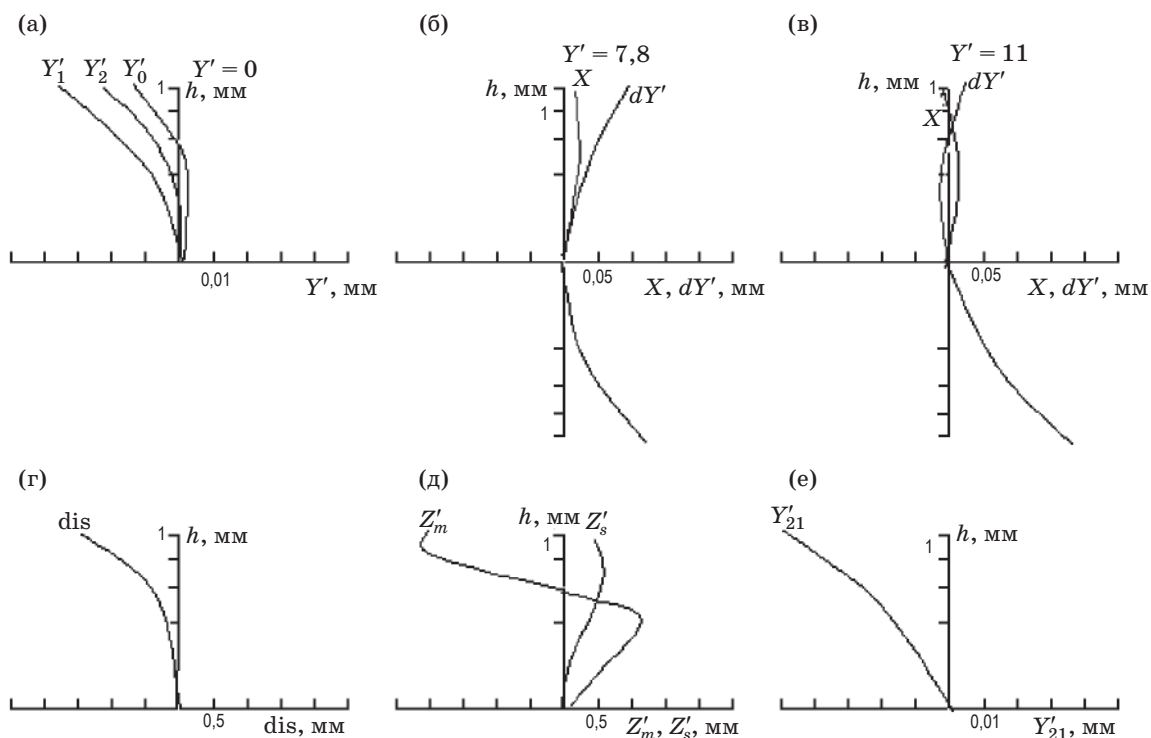


Рис. 4. Аберрационные характеристики контактного объектива с базовой линзой с волнообразными коррекционными поверхностями (по схеме на рис. 2). Обозначения те же, что на рис. 3.

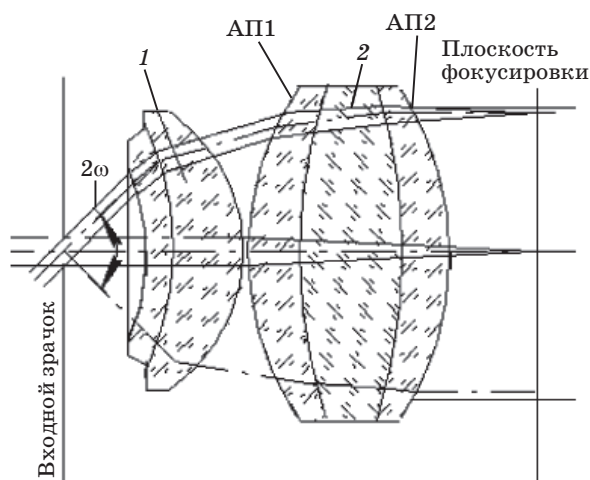


Рис. 5. Бесконтактный объектив на основе базовой линзы с внешними асферическими поверхностями. 1 – склеенный мениск со сферическими поверхностями, 2 – склеенная базовая линза с внешними асферическими поверхностями АП1 и АП2, 2ω – полевой угол.

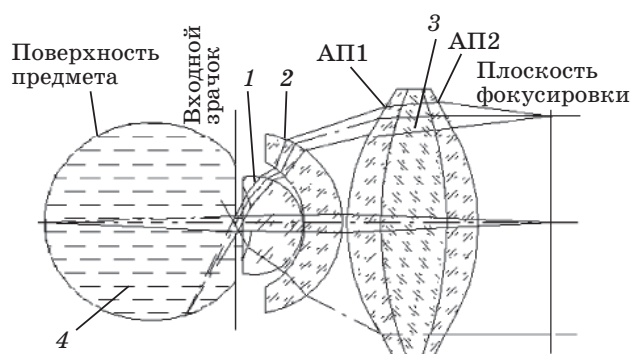


Рис. 6. Контактный объектив на базе линзы с внешними асферическими поверхностями АП1 и АП2. 1, 2 – сферические положительные мениски, 3 – базовая линза, 4 – схематическое изображение глаза.

Результаты проведенного исследования показывают возможность использования одиночной линзы со скомпенсированными аберрациями в качестве базовой в различных оптических

системах, например, как в контактных и бесконтактных офтальмологических объективах, так и в качестве самостоятельного элемента, равно как и разработанный базовый коррекционный асферический элемент может быть использован для компенсации сферической аберрации силовых линз для различных оптических систем.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов Э.А., Бурдина Н.М. Производство оптических деталей методами прессования // ОМП. 1990. № 11. С. 27–38.
 2. Русинов М.М. Композиция оптических систем. Л.: Машиностроение, 1989. 383 с.
 3. Олейник С.В., Хацевич Т.Н. Исследование двухлинзовых объективов-ахроматов как базовых элементов светосильных объективов приборов ночного видения // Оптический журнал. 2009. Т. 76. № 1. С. 64–66.
 4. Потапова Н.И., Цветков А.Д. Пятикомпонентный миниобъектив с корректорами-спекформами // Оптический журнал. 2000. Т. 67. № 2. С. 110–112.
 5. Потапова Н.И., Цветков А.Д. Проекционный объектив для фокусировки лазерного излучения // Патент РФ № 2215313. 2002.
 6. Потапов С.Л., Потапова Н.И., Цветков А.Д. Светосильные однокомпонентные фокусирующие системы на основе спекформов // Оптический журнал. 2000. Т. 67. № 8. С. 61–64.
 7. Потапова Н.И., Цветков А.Д. Проекционный объектив для фокусировки лазерного излучения // Оптический журнал. 2010. Т. 77. № 3. С. 73–78.
 8. Потапова Н.И., Цветков А.Д. Линза с коррекцией aberrаций // Патент РФ № 2174245. 1999.
 9. Потапова Н.И., Цветков А.Д. Окуляры и лупы на основе базовой линзы-спекформа с волнообразной коррекционной поверхностью // Оптический журнал. 2000. Т. 67. № 12. С. 67–70.
 10. Потапова Н.И., Цветков А.Д. Способ изготовления деталей с асферическими поверхностями // Патент РФ № 2245852. 2003.
 11. Цветков А.Д. Разработка и исследование спекформов – нового класса оптических и лазерных элементов // Автореферат диссертации. СПб., 1996. 34 с.
-