Наука и Образование
МГТУ им. Н.Э. Баумана
Сетевое научное издание
ISSN 1994-0408

Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2016. № 08. С. 89–103.

DOI: **10.7463/0816.0843220**

Представлена в редакцию: 04.07.2016
Исправлена: 18.07.2016

© МГТУ им. Н.Э. Баумана

УДК 535.31; 004.942

Моделирование линзового двухкомпонентного реверсивного телеобъектива на основе алгебраического метода расчета оптических систем

Ровенская Т. С.[1,*], **Ламкина Е. О.**[2]

*rovts@yandex.ru

[1]МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
[2]Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры, Москва, Россия

Разработан алгоритм математического моделирования и выполнено исследование двухкомпонентной структурной схемы объектива в параксиальной области и области аберраций третьего порядка применительно к классу фотографических реверсивных телеобъективов с различными оптическими характеристиками в широкой области значений длины объектива и коэффициента телереверсивности. Результаты моделирования обеспечивают возможность на начальном этапе проектирования сформулировать определенные условия аберрационной коррекции компонентов объектива и определить направление изменения его габаритных параметров для достижения показателей качества изображения.

Ключевые слова: телеобъектив реверсивный; структурная схема; теория расчета; суммы Зейделя, моделирование математическое

Введение

Современный этап развития оптико-электронных цифровых устройств записи, передачи и отображения информации ставит перед разработчиками оптических систем задачи проектирования фотографических объективов с соответствующими характеристиками. Отличительными тенденциями данного этапа являются повышение требований к габаритным, оптическим и качественным характеристикам оптических систем и расширение рабочего спектрального диапазона в ближние УФ - и ИК - области [1, 2, 3]. Значительную нишу современных объективов занимают линзовые монофокальные объективы видеопроекторов, представленные разработками как зарубежных фирм – производителей Японии, Тайваня, Южной Кореи, США [4], так и отечественными авторами [5, 6,7, 8, 9,10,11].

В [12] рассмотрены закономерности построения оптических схем современных линзовых фотографических и проекционных объективов и тенденции их модернизации, выявленные путем анализа патентных документов и изучения результатов научных публикаций [13, 14]. Такие объективы в большинстве случаев имеют двухкомпонентную или трехкомпонентную структурные схемы; при этом в системах с низким значением фокусного расстояния необходимо получить конструктивно приемлемое значение заднего отрезка $a'_{F'}$, что соответствует выполнению условия телереверсивности объектива: $f' < a'_{F'}$. Известно, что в случае построения схемы из двух расположенных на конечном расстоянии друг от друга линзовых компонентов (групп) с первым компонентом отрицательной оптической силы, вторым - положительной оптической силы, создается возможность для обеспечения условия телереверсивности при компенсационном воздействии на кривизну Петцваля объектива [15]. Однако детализированное исследование габаритных и аберрационных возможностей данной структурной схемы отсутствует при несомненном практическом интересе.

1. Алгоритм аналитического исследования структурной схемы линзового двухкомпонентного реверсивного телеобъектива

Основу современной теоретической базы методик синтеза структурных схем оптических систем образуют алгебраический метод [16,17], методы композиции [15,18] и сочетания перечисленных методов [19]. Алгебраический метод, несмотря на свойственные ему ограничения, является достаточно эффективным для решения задач по определению области существования оптической схемы, выявления качественного характера зависимостей между характеристиками отдельных компонентов и свойствами всей системы, при выборе направлений изменений в форматах предъявляемых к оптической системе требований.

В работе [20] представлен алгоритм определения параметров схемы-модели двухкомпонентного линзового объектива, разработанный на основе классической теории аналитического метода структурного и параметрического синтеза оптических систем [16,17].

Теоретическую базу метода составляют гауссова теория и теория монохроматических аберраций третьего порядка центрированных оптических систем. В математической модели объектив представляется состоящим из двух расположенных в воздухе тонких компонентов: отрицательного и положительного, - при размещении апертурной диафрагмы между компонентами.

Расчетная схема с принятыми условными обозначениями приведена на рис. 1. Данная схема соответствует случаю произвольного хода главного луча внеосевого пучка в пространстве изображений.

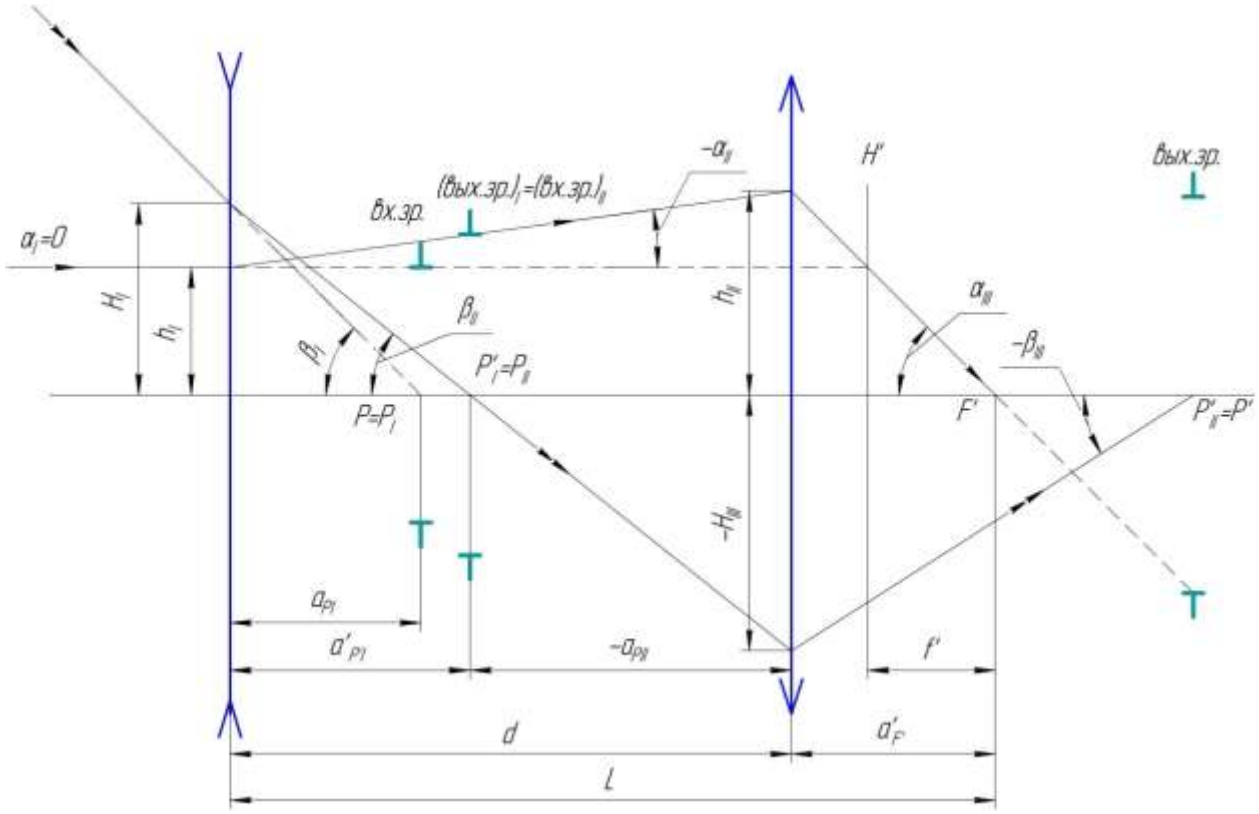

Рис.1. Структурная схема двухкомпонентного реверсивного телеобъектива с произвольным ходом главного луча внеосевого пучка в пространстве изображений

Здесь:

f' - заднее фокусное расстояние объектива; $f' = 1{,}0$;

φ_I ($\varphi_I < 0$), φ_{II}($\varphi_{II} > 0$)–оптические силы компонентов,

d - расстояние между компонентами;

L– осевая длина объектива,

$a'_{F'}$ - задний фокальный отрезок объектива;

a_{PI}, $a'_{P'I}$, a_{PII}, $a'_{P'II}$ – отрезки, определяющие положения входного зрачка первого компонента и входного зрачка объектива, выходного зрачка первого компонента, входного зрачка второго компонента, выходного зрачка второго компонента и объектива соответственно;

P, P', P_I, P'_I, P_{II}, P'_{II} – центры входного и выходного зрачков объектива, первого и второго компонентов соответственно.

Расчетные выражения определяются при следующих условиях нормировок:

для 1 –го вспомогательного луча: $\alpha_I = 0$; $h_I = 1$; $h_{II} = a'_{F'}$; $\alpha_{III} = 1$;

для 2 – го вспомогательного луча: $\beta_I = 1$; $H_I = a_P$; $\beta_{III} \neq 0$.

Здесь:

α_I, α_{II}, α_{III}, h_I, h_{II} – углы и высоты 1 -го вспомогательного луча;

β_I, β_{II}, β_{III}, H_I, H_{II} – углы и высоты 2 - го вспомогательного луча.

В объективе выполняется условие масштаба, т.е. приведенная оптическая сила объектива φ_e равна единице:$\varphi_e = \varphi_I + \varphi_{II} - d \cdot \varphi_I \cdot \varphi_{II} = 1$.

При расположении апертурной диафрагмы в передней фокальной плоскости второго компонента обеспечивается телецентрический ход главного луча внеосевого пучка в пространстве изображений.Целесообразность рассмотрения схемы с телецентрическим ходом главного луча определяется требованием равномерного распределения освещенности в плоскости изображения, актуального для объективов рассматриваемого класса. Соответствующая схема объектива с телецентрическим ходом главного луча приведена на рис. 2.

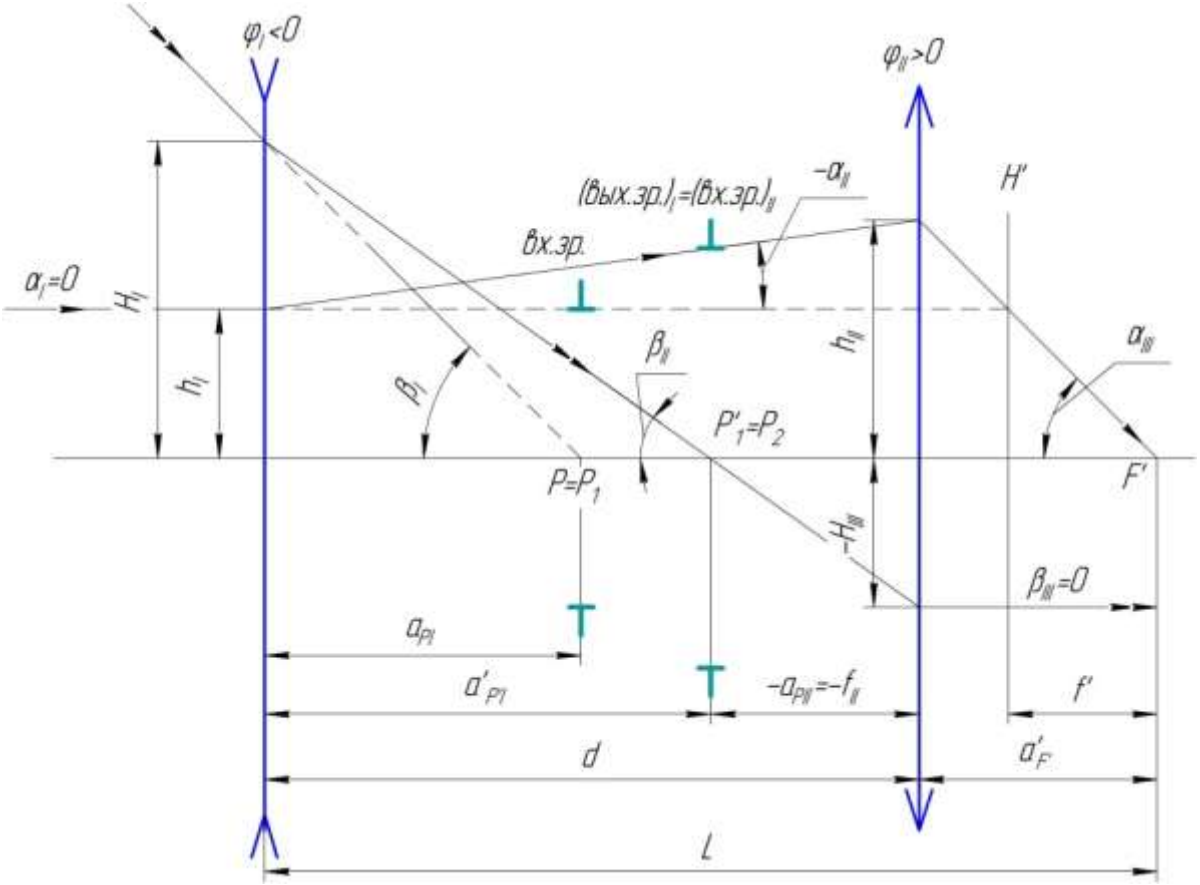

Рис. 2. Структурная схема двухкомпонентного реверсивного телеобъектива с телецентрическим ходом главного луча внеосевого пучка в пространстве изображений

Условие масштаба и геометрические соотношения, очевидные из анализа рис. 2, позволяют решить следующие задачи этапа определения внешних параметров объектива, а именно, определить оптические силы компонентов, расстояние между ними, общую длину объектива, значение заднего фокального отрезок, положение апертурной диафрагмы, выходного и выходного зрачков для следующих двух подходов к заданию исходных данных [20]:

I) заданы значения нормированных длины Lи заднего фокального отрезка $a'_{F'}$;

II) задано значение заднего фокального отрезка объектива$a'_{F'}$ и назначены требования к коррекции кривизны поверхности изображения в объективе.

Задача этапа определения внутренних параметров в рассматриваемом алгоритме сформулирована как определение значений монохроматических аберрационных параметров (P_I , W_I) и (P_{II}, W_{II}) первого и второго компонентов соответственно.

Для класса светосильных объективов, к которому следует отнести исследуемую модель, важно исправление апертурных аберраций. Следовательно, целесообразно принять, что объектив должен быть исправлен в отношении сферической аберрации и комы, т.е. должен соответствовать условиям апланатической коррекции в области аберраций третьих порядков: $S_I = 0$,$S_{II} = 0$.

Выполнение этих требований в объективе обеспечивается методом компенсации соответствующихаберраций третьего порядка по компонентам:

– для сферической аберрации:$(S_I)_I = -(S_I)_{II}$;

– для комы:$(S_{II})_I = -(S_{II})_{II}$.

Здесь:

$(S_I)_I, (S_I)_{II}$ - первая сумма Зейделя первого и второго компонентов;

$(S_{II})_I$, $(S_{II})_{II}$ - вторая сумма Зейделя этих компонентов.

Хроматические аберрации первого порядка предполагаются исправляемыми в каждом компоненте.

2. Исследование зависимостей внешних и внутренних параметров схемы – модели от габаритных параметров и условий аберрационной коррекции первого компонента

Полученные в работе [20] уравнения использованы для исследования функциональных зависимостей габаритных, параксиальных и аберрационных параметров модели от перечисленных выше свободных параметров для I-го из указанных выше подходов к заданию исходных данных. Выбор числовых значений этих параметров сделан с учетом выводов, полученных в результате исследований реальных (имеющих конструктивное описание) систем[4, 12].

При моделировании задаваемыми параметрами являются длина объективаL,коэффициент телереверсивности (задний фокальный отрезок)$a'_{F'}$,значения аберрационных параметров π_I,π_{II} тонких компонентов, значения второй$(S_{II})_I$ и третьей $(S_{III})_I$ сумм Зейделя первого компонента. Выбор $(S_{II})_I$ и $(S_{III})_I$ в качестве свободных параметров на этапе расчета внутренних параметров объектива позволяет создать определенные условия для коррекции полевых аберраций в первом компоненте. Косвенным признаком необходимости улучшения условий работы этого компонента в отношении полевых аберраций является достижение на нембольшихзначений высот второго вспомогательного луча.Значения третьей S_{III}, четвертой S_{IV} и пятойS_Vаберрационных сумм объектива являются контролируемыми.Четвертая сумма S_{IV} вычисляется через оптические силы компонентов и их аберрационные параметры π_i. Ориентируясь на анализ известных решений,на данном этапе исследования является допустимым принять $\pi_I = \pi_{II} = \pi = 0{,}37$.

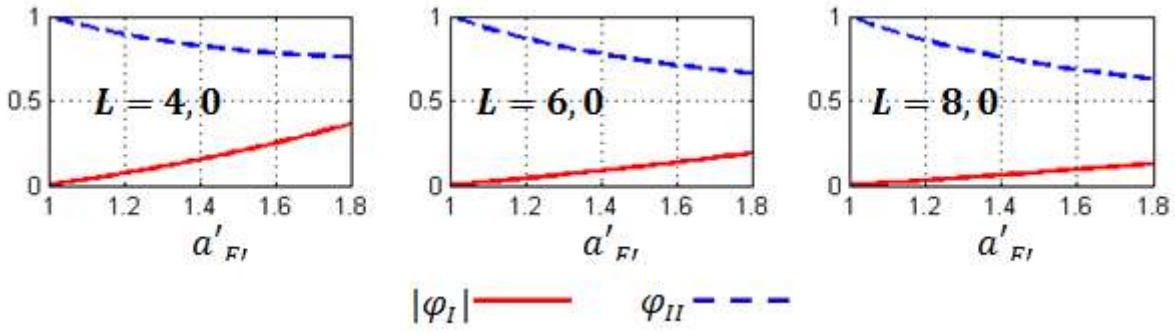

Рис. 3. Зависимость значений модулей оптических сил компонентов $|\varphi_I|$ и φ_{II}от величины заднего фокального отрезка $a'_{F'}$

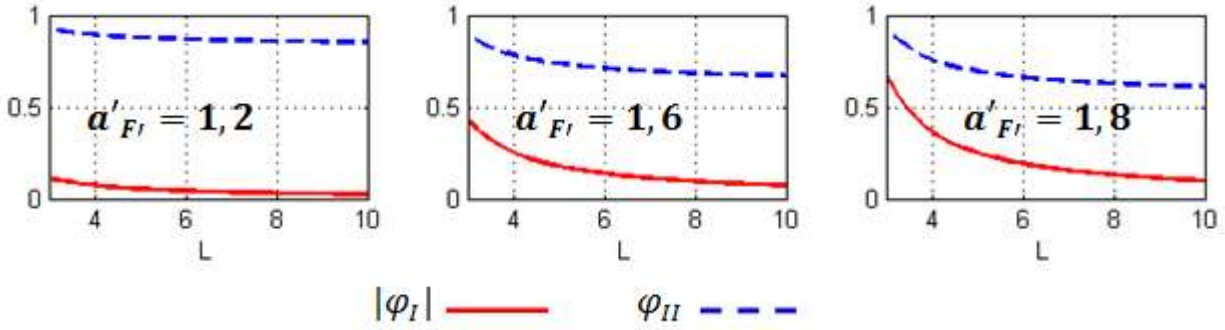

Рис. 4. Зависимость значений модулей оптических сил компонентов $|\boldsymbol{\varphi_I}|$ и $\boldsymbol{\varphi_{II}}$ объектива от длины объектива $\boldsymbol{L}$при фиксированной величине заднего фокального отрезка$\boldsymbol{a'_{F'}}$

Представленные на рис. 3, 4 зависимости соответствуют областям компактных объективов, объективов средней и большой длины. Зависимости, отраженные на рис. 4, отражают влияние длины объектива для значений коэффициента телереверсивности для областей, соответствующих областям нормальных объективов и объективов со средними и высокими значениями указанного коэффициента.

Результаты исследования зависимостей внутренних параметров объектива - аберрационных сумм и аберрационных параметров - от габаритных соотношений в модели, определенных при условии равенства нулю второй и третьей сумм первого компонента:$(S_{II})_I = 0; (S_{III})_I = 0$, иллюстрируют рис. 5, 6.Анализ полученных результатов показывает, что аберрационное решение существенным образом зависит от длины объектива и улучшается с ее увеличением. Однако отмеченный эффект с возрастанием длины объектива ослабевает и, начиная снекоторого ее значения,практически не оказывает влияния на значения аберрационных сумм.Таким образом, область средних значений длины объектива (L=5,0…7,0)можно определить как предпочтительную для обеспечения приемлемого уровня аберрационной коррекции. В более компактных моделях (L=3,0…4,0) высокие значения принимает первая сумма$(S_I)_i$компонентов. В этой области решений, особенно при увеличениизначения коэффициента телереверсивности$a'_{F'}$, прогнозируются существенныеОднако,наряду с увеличением модулей первых сумм компонентов $(S_I)_i$,происходит снижение модулей третьей S_{III}, четвертой S_{IV} и пятой S_V сумм объектива (рис. 6). Указанное влияние коэффициента телереверсивности $a'_{F'}$на суммы, определяющие полевые аберрации объектива, ослабевает с увеличением значения $a'_{F'}$.

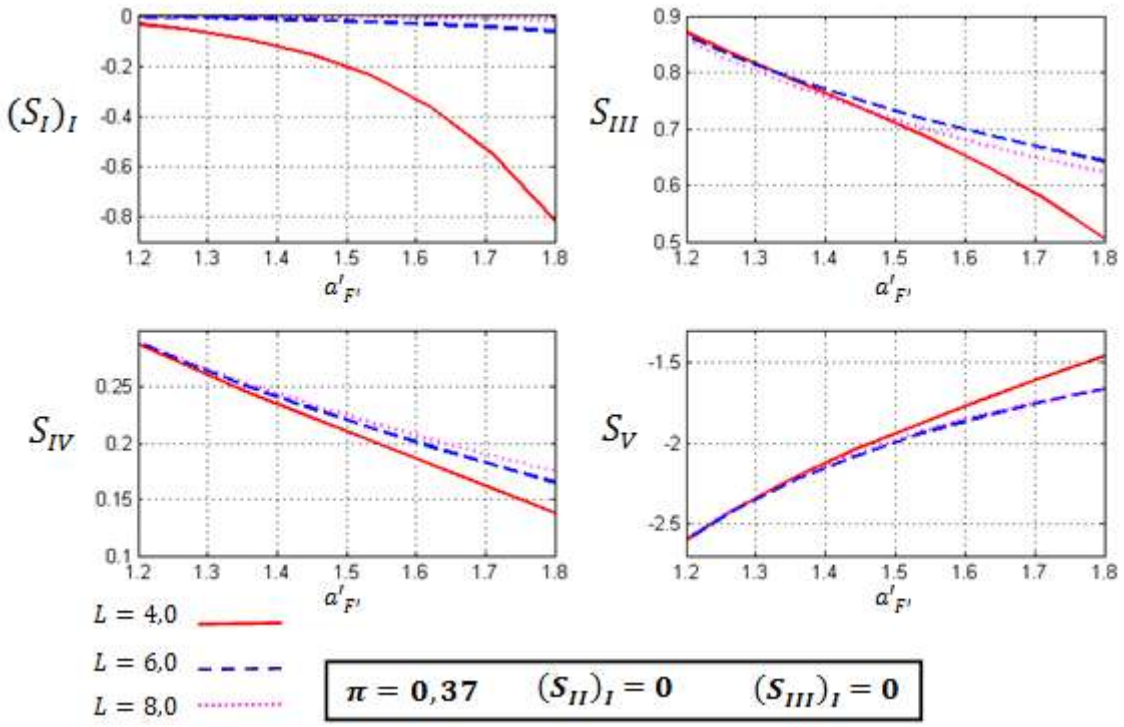

Рис. 5. Зависимость аберрационных сумм объектива от величины заднего фокального отрезка $a'_{F'}$,при фиксированной длине объектива L

Диапазоны числовых значений анализируемых сумм для выделяемых областей габаритного параметра длины объектива:

$\boldsymbol{L = 4,0}$: $(S_I)_I = -0{,}03 \ldots -0{,}82$, $S_{III} = 0{,}87 \ldots 0{,}51$,$S_{IV} = 0{,}30 \ldots 0{,}15$,$S_V = -2{,}62 \ldots -1{,}47$.

$\boldsymbol{L = 6,0}$: $(S_I)_I$ =-0,004…-0,06, $S_{III} = 0{,}87 \ldots 0{,}64$, $S_{IV} = 0{,}30 \ldots 0{,}15$,$S_V = -2{,}61 \ldots -1{,}68$.

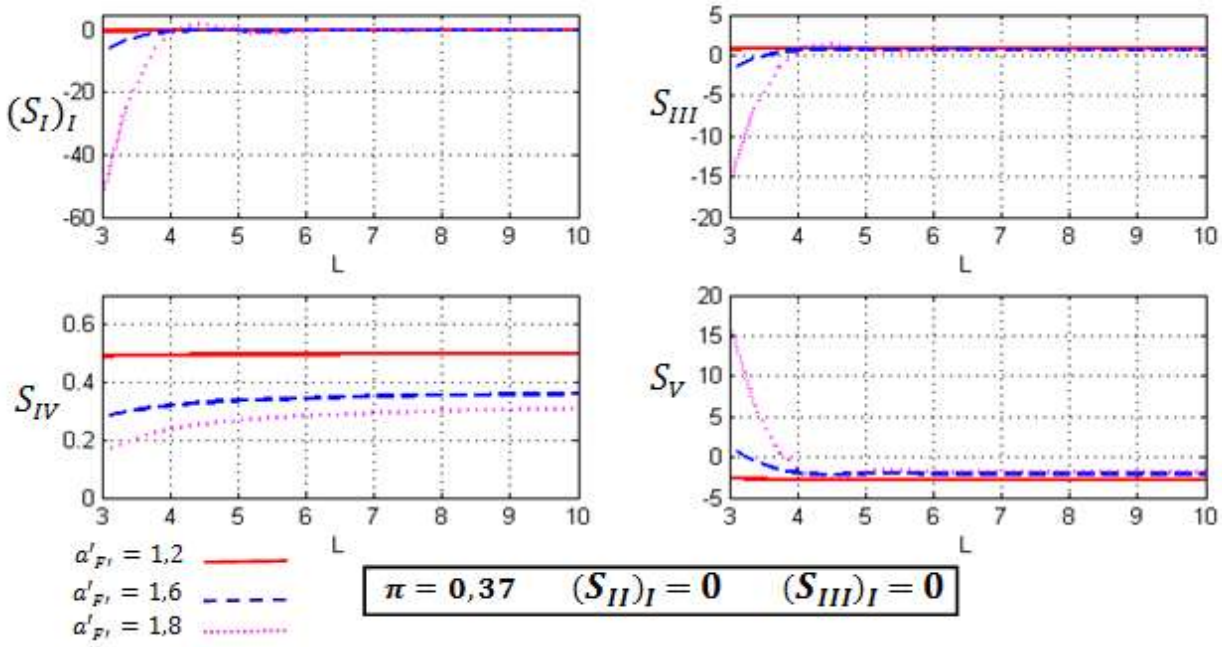

Рис. 6. Зависимость аберрационных сумм объектива от его длины L при фиксированной величине заднего фокального отрезка $a'_{F'}$

Диапазоны числовых значений анализируемых сумм для выделяемых областей габаритного параметра коэффициента телереверсивности объектива:

$\boldsymbol{a'_{F'} = 1,2}$: $(S_I)_I = -0{,}25 \ldots -0{,}0005$, $S_{III} = 0{,}75 \ldots 0{,}85$, $S_{IV} = 0{,}30 \ldots 0{,}31$, $S_V = -2{,}41 \ldots -2{,}60$.

$\boldsymbol{a'_{F'} = 1,6}$: $(S_I)_I$ =-6,86….-0,003, $S_{III} = -1{,}79 \ldots 0{,}67$, $S_{IV} = 0{,}17 \ldots 0{,}22$, $S_V = 1{,}32 \ldots -1{,}86$.

Выявленные тенденции позволили определить область дальнейшего, более подробного исследования, которая определяются рядом значений длин объектива $L = \{4{,}0; 6{,}0; 8{,}0\}$ при выбранномзначении заднего фокального отрезка$a'_{F'} = 1{,}6$. Указанные три значения длины объектива позволяют исследовать влияние предложенной аберрационной коррекции в области коротких, средних и длинных систем. При выбранных условиях изопланатической аберрационной коррекции первого компонента ($(S_{II})_I = 0$; $(S_{III})_I = 0$) астигматизм объектива определяется значением третьей суммы второго компонента $(S_{III})_{II}$, которая в выделенной области принимает высокие положительные значения, что противоречит условиям, предъявляемым к исправлению аберраций в объективах выделенного функционального назначения. Четвертая сумма S_{IV} при выбранных габаритных параметрах и $\pi = 0{,}37$ невелика и сохраняется при изменении длины объектива на уровне 0,20. Пятая сумма S_V объектива характеризуется высокими отрицательными значениями, что соответствует бочкообразному характеру аберрации дисторсия, при этом модуль пятой суммы первого компонента меньше, чем значение данной суммы второго компонента:$(S_V)_I < (S_V)_{II}$.

Учитывая установленный факт сохранения в объективе неустранимых астигматизма и дисторсии, был выполнен переход к иным условиям расчета внутренних параметров, а именно отказ от условий изопланатической коррекции первого компонента при сохранении для объектива в целом апланатической степени коррекции:

– для сферической аберрации:$(S_I)_I = -(S_I)_{II}$;

– для комы:$(S_{II})_I = -(S_{II})_{II}$.

при условиях: 1) $(S_{II})_I = 0$, $(S_{III})_I \neq 0$; 2)$(S_{III})_I = 0$, $(S_{II})_I \neq 0$.

Полученные результаты представлены ниже в виде графических функциональных зависимостей первой суммы первого компонента$(S_I)_I$, второйS_{II}, третьейS_{III} и пятойS_V сумм объектива от условия коррекции астигматизма в первом компоненте при устранении в нем комы (вариант 1, рис. 7) и от условия исправления в первом компоненте комы при устранении в нем астигматизма (вариант 2, рис. 8).В моделях обеспечивается апланическая степень исправления аберраций.

1) Изменения третьей суммы первого компонента в диапазоне$(S_{III})_I$=$[-0{,}7 \ldots 0{,}1]$ при равенстве нулю его второй суммы (рис.7):

$$(S_{II})_I = 0; (S_{III})_I = [-0{,}7; 0{,}1];$$

– для сферической аберрации:$(S_I)_I = -(S_I)_{II}$;

– для комы:$(S_{II})_I = -(S_{II})_{II}$.

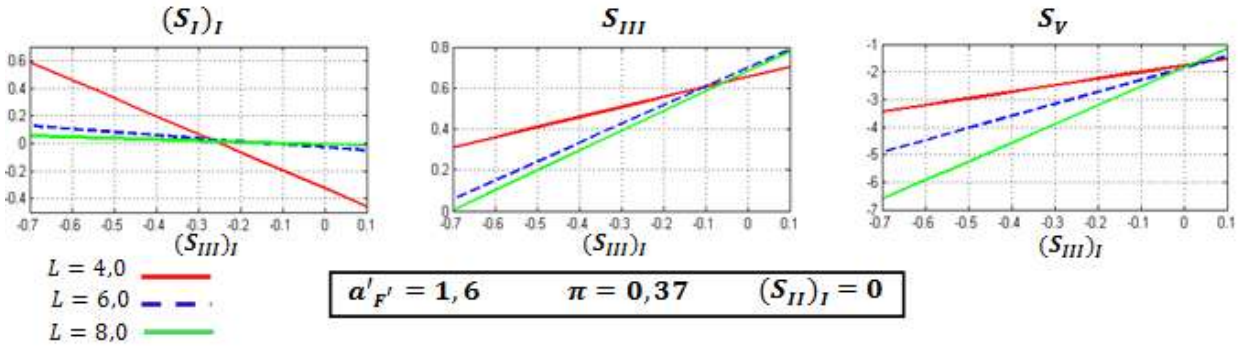

Рис. 7. Зависимость аберрационных сумм объектива от$(S_{III})_I$

Диапазоны числовых значений анализируемых сумм:

$\boldsymbol{L = 4{,}0}$**:** $(S_I)_I = 0{,}59 \ldots - 0{,}46$, $S_{III} = 0{,}31 \ldots 0{,}70$,$S_{IV} = 0{,}20$, $S_V = -3{,}46 \ldots - 1{,}55$.

$\boldsymbol{L = 6{,}0}$**:** $(S_I)_I = -0{,}13 \ldots - 0{,}05$, $S_{III} = 0{,}06 \ldots 0{,}79$, $S_{IV} = 0{,}21$,$S_V = -4{,}93 \ldots - 1{,}44$.

2) Изменение второй суммы первого компонента в диапазоне$(S_{II})_I = [-0{,}4; 0{,}1]$ при равенстве нулю его третьей суммы(рис. 8):

$$(S_{III})_I = 0; (S_{II})_I = [-0{,}4; 0{,}1];$$

– для сферической аберрации:$(S_I)_I = -(S_I)_{II}$;

– для комы:$(S_{II})_I = -(S_{II})_{II}$.

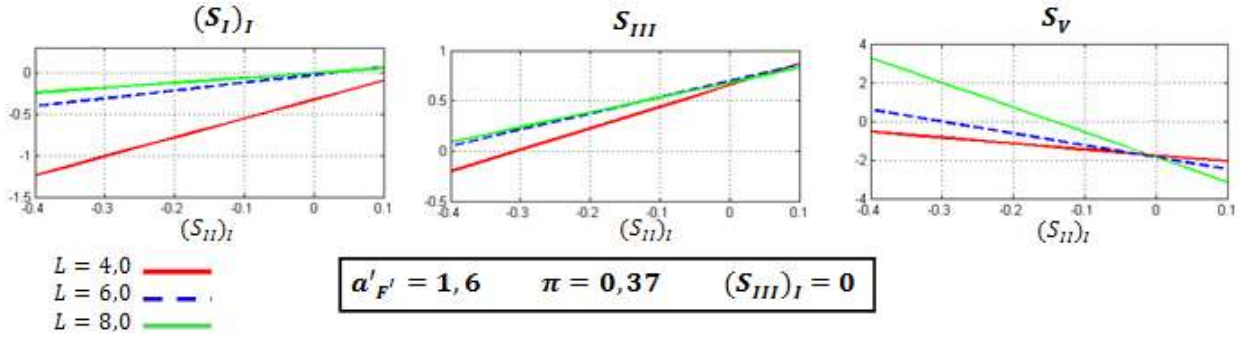

Рис. 8. Зависимость аберрационных сумм объектива от $(S_{II})_I$

Диапазоны числовых значений анализируемых сумм

$\boldsymbol{L = 4{,}0}$**:** $(S_I)_I = -1{,}24 \ldots - 0{,}10$, $S_{III} = -0{,}20 \ldots 0{,}87$,$S_{IV} = 0{,}20$, $S_V = -0{,}56 \ldots - 2{,}09$.

$\boldsymbol{L = 6{,}0}$**:** $(S_I)_I = -0{,}41 \ldots 0{,}06$, $S_{III} = 0{,}05 \ldots 0{,}86$, $S_{IV} = 0{,}21$,$S_V = 0{,}58 \ldots - 2{,}49$.

Анализ полученных результатов показывает, что при варьировании условиями исправления комы и астигматизма в первом компоненте в общем случае, возможно получение исходного решения объектива, отвечающего требованиям устранения в нем сферической аберрации, комы и астигматизма. Таким образом, данное исследование позволило сформулировать общие рекомендации по обеспечению анастигматической степени аберрационной коррекции в исходной модели объектива путем обеспечения в первом компоненте отрицательных или малых положительных значений второй $(S_{II})_I$и третьей$(S_{III})_I$ аберрационных сумм первого компонента.

Степень исправления кривизны поля, оцениваемая при моделировании значением четвертой суммы объективаS_{IV}, существенным образом зависит от его габаритных параметровL и $a'_{F'}$(рис. 5,6) и значений параметровπ компонентов. Изучение влияние параметра π компонентов объектива на его аберрационные суммы показало, что уменьшение значений этого параметра благоприятно как для исправления кривизны Петцваля, так и для исправления дисторсии, определяемой суммой S_V:

при π=0,6: $S_{IV} = 0{,}32$, $S_V = -1{,}95$;

при π=0,37:$S_{IV} = 0{,}20$, $S_V = -1{,}78$.

В рассмотренном диапазоне значений длины схемыL и ее заднего фокального отрезка$a'_{F'}$ кривизна Петцваля неустранима, но при этом значение четвертой суммы ЗейделяS_{IV} в целом может быть охарактеризовано как невысокое. Так, в рассмотренной области решений оно находится в относительно узком диапазоне положительных значений ($S_{IV} =$ 0,15…0,30) со снижением при увеличении отрезка$a'_{F'}$,и уменьшении значения параметра π при слабо выраженной зависимости от изменения длины схемы L. Изменение значения параметра π обеспечивается введением в композицию компонентов компенсаторов кривизны и выбором показателей преломления материалов линз.

Описанный в [3] алгоритм позволяет также моделировать объектив при ином наборе исходных условий, обозначенных выше как подход II к заданию исходных данных. В этом случае осуществляется непосредственное управление уровнем четвертой суммы объектива и значением коэффициента телереверсивности$a'_{F'}$, а длина объектива выступает как определяемый параметр. Числовые исследования также показали, что отказ от условия телецентричности главного луча внеосевого пучка в пространстве изображений позволяет получить систему с лучшими аберрационными свойствами. При положении входного зрачка второго компонента перед его фокальной плоскостью главный луч образует отрицательный угол с оптической осью в пространстве изображений. Такое положение зрачка позволяет получить меньшие значения третьей S_{III}и пятой S_V аберрационных сумм объектива при возрастании первых сумм компонентов ($(S_I)_I$ и $(S_I)_{II}$), что усложняет условия для создания апертурных систем и расширяет возможности для развития углового поля в пространстве предметов. Положение зрачка за фокальной плоскостью обеспечивает положительный угол главного луча с оптической осью в пространстве изображений. Исправление сферической аберрации объектива осуществляется при меньших значениях сумм на компонентах. Зафокальное положение зрачка приводит к возрастанию астигматизма и снижению дисторсии объектива, определяемых третьей S_{III} и пятой S_V суммами соответственно. По указанной схеме могут быть построены апертурные объективы при средних угловых полями.

Заключение

Предложенная методика расчета двухкомпонентного реверсивного телеобъектива и полученные функциональные зависимости обеспечивают выбор габаритных параметров исходного варианта структурной схемы объектива и условий аберрационной коррекции

компонентов в согласовании с оптическими и качественными характеристиками проектируемого объектива. Исследование выполнено в представляющей практический интерес области значений длины и коэффициента телереверсивности. Алгоритм расчета прост в применении, может быть автоматизирован и использован для аналогичных исследований, связанных с переходом к иным спектральным диапазонам и к другим группам оптических материалов. Современные пакеты прикладных программ расчета оптических систем позволяют на основе вычисленных значений аберрационных параметров компонентов осуществить автоматизированный параметрический синтез, обеспечивающий переход к конструктивной модели объектива.

Список литературы

1. КамераIQ: веб-сайт. Режим доступа: http://www.cameraiq.ru/ (дата обращения 01.07.2016)
2. KowaEuropeGmbH: веб-сайт. Режим доступа: http://www.kowa-europe.com/lenses/en/index.php (дата обращения 10.07.2016)
3. Optec. Optical &Optoelectronical systems: веб-сайт. Режим доступа: http://www.optec.eu/index_en.asp (дата обращения 02.07.2016)
4. Ровенская Т.С., Ламкина Е.О. Исследование структурных свойств нормальных и светосильных широкоугольных объективов // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 7. DOI: 10.18698/2308-6033-2013-7-829
5. Козодой В.В. Синтез светосильного широкоугольного фотографического объектива с увеличенным задним фокальным отрезком // Известия высших учебных заведений. 1994. Т. 37. № 2. С.72-74.
6. Матвеев В.В. Пятилинзовый светосильный объектив. Патент РФ 2106665. МКИ G02B11/30. 1998.
7. Фридман М.Р. Светосильный широкоугольный объектив. Патент РФ 2123713. МКИ G02B9/64. 1998.
8. Марчук С.М. Широкоугольный проекционный объектив для системы отображения информации // Оптический журнал. 2006. Т.73. № 12. с.27.
9. Козодой В.В. Проекционный светосильный объектив. Патент РФ 2379721. МКИ G02B9/64. 2010.
10. Козодой В.В., Михайлова Г.Н. Проекционный светосильный объектив. Патент РФ 2413262. МКИ G02B9/64. 2011.
11. Лапо Л.М. и др. Светосильный широкоугольный объектив. Патент РФ 2485561. МКИ G02B9/64. 2013.
12. Ровенская Т.С. Проблемы и тенденции в проектировании светосильного репродукционного объектива для микропроекции. Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 7. DOI: 10.18698/2308-6033-2013-7-830
13. Волосов Д.С. Фотографическая оптика. М.: Искусство. 1978. 543 с.

14. Иванов П.Д. Некоторые особенности расчета широкоугольных и светосильных объективов: автореф. ... дисс. канд. техн. наук. М.: 1964г.
15. Русинов М.М. Композиция оптических систем. Л.: Машиностроение, 1989. 383 с.
16. Слюсарев Г.Г. Методы расчёта оптических систем. Л.: Машиностроение, 1969. 672 с.
17. Слюсарев Г.Г. Расчет оптических систем. Л.: Машиностроение, 1975. 640 с.
18. Сальников А.В. Анализ проблем формирования компьютерной элементарной базы композиции оптических систем. СПб: СПбГИТМО, 2008. 98 с.
19. Грамматин А.П., Романова Г.Э., Балаценко О.Н. Расчет и автоматизация проектирования оптических систем / Учебное пособие. СПб: НИУ ИТМО. 2013. 128 с.
20. Ровенская Т.С., Ламкина Е.О. Алгоритм аналитического исследования структурной схемы линзового двухкомпонентного реверсивного телеобъектива // Международный научный институт «EDUCATIO». Ежемесячный научный журнал. 2015, №7(14). С. 54-58.

Science & Education of the Bauman MSTU
Electronic journal
ISSN 1994-0408

Science and Education of the Bauman MSTU, 2016, no. 08, pp. 89–103.

DOI: **10.7463/0816.0843220**

Received: 04.07.2016
Revised: 18.07.2016

© Bauman Moscow State Technical Unversity

The Two-Component Lens Reverse Telephoto Lens Simulation Based on the Algebraic Calculation Method for Optical Systems

T.S. Rovenskaya[1,*], E.O. Lamkina[2]

*rovts@yandex.ru

[1]Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia
[2]Center for Operation of Ground-Based Space Infrastructure, Moscow, Russia

Keywords: reverse telephoto lens; structural scheme; theory of computation; the amount Seidel; mathematical modeling

Regarding to the focus distance - back-focal distance ratio a large group of the anastigmatic lenses, used in the cutting-edge mobile computing devices, can be classified as a reverse telephoto lens. A specific structure design of the lens allows us to achieve an increased value of the back focal distance with regard to the focal distance. The simplest possible block-diagram, in particular, represents a lens structure consisting of the first component with negative refractive power and the second positive refractive power component that is at a finite distance from the first one. The aperture diaphragm is arranged in the air gap between the components to provide, in case it is placed in the front focal plane of the second component, a telocentric principal ray path length of the off-axis beams in the image space. The mathematical simulation of the block-diagram in the paraxial area and in the area of the third-order aberrations has been performed in order to obtain the functional dependence of the characteristic parameters of the lens and its components on the lens length, its telereversibility factor, and correcting Petzval curvature condition. A simulation algorithm uses the theoretical foundations of the algebraic method, i.e. the method of separation of variables. This algorithm is used to study the dependencies of components optical power, aberration parameters, and Seidel amount of lens - aplanatic lens within a wide range of values in lens length and telereversibility factor. The article considers the influence of the value of component parameters π, correlated with the lens material and component structure, and the impact of the aperture arrangement. The simulation results in terms of optical and qualitative characteristics of the lens designed can be used in selecting the overall parameters of the block-diagram of two-component reverse telephoto lens and for specifying the aberration correction conditions of its components.

References

1. *KameraIQ*: web-site. Available at: http://www.cameraiq.ru/ (accessed 01.07.2016)

2. *KowaEuropeGmbH*: web-site. Available at: http://www.kowa-europe.com/lenses/en/index.php (accessed 10.07.2016)
3. *Optec*. Optical &Optoelectronical systems: web-site. Available at: http://www.optec.eu/index_en.asp (accessed 02.07.2016)
4. Rovenskaya T.S., Lamkina E.O. Study of structural properties of normal and aperture wide-angle projection lenses. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii = Engineering Journal: Science and Innovation*, 2013, no. 7. (in Russian). DOI: 10.18698/2308-6033-2013-7-829
5. Kozodoy V.V. Sintez svetosil'nogo shirokougol'nogo fotograficheskogo ob'ektiva s uvelichennym zadnim fokal'nym otrezkom. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy = Proceedings of Higher Educational Institutions,* 1994, vol. 37, no. 2, pp. 72-74. (in Russian).
6. Matveev V.V. *Pyatilinzovyy svetosil'nyy ob'ektiv* [Five-lens large aperture objective]. Patent RF 2106665. MKI G02B11/30. 1998.
7. Fridman M.R. *Svetosil'nyy shirokougol'nyy ob'ektiv* [Large aperture wide-angle objective]. Patent RF 2123713. MKI G02B9/64. 1998.
8. Marchuk S.M. Wide-angle projection objective for an information-display system. *Opticheskiy zhurnal*. 2006, vol.73, no. 12, pp. 27-29. (in Russian). (English version of journal: *Journal of Optical Technology,* 2006, vol. 73, no.12, pp. 846-848. DOI: 10.1364/JOT.73.000846)
9. Kozodoy V.V. *Proektsionnyy svetosil'nyy ob'ektiv* [Large aperture projection objective]. Patent RF 2379721. MKI G02B9/64. 2010.
10. Kozodoy V.V., Mikhaylova G.N. *Proektsionnyy svetosil'nyy ob'ektiv* [Large aperture projection objective]. Patent RF 2413262. MKI G02B9/64. 2011.
11. Lapo L.M. et al. *Svetosil'nyy shirokougol'nyy ob'ektiv* [Large aperture wide-angle objective]. Patent RF 2485561. MKI G02B9/64. 2013.
12. Rovenskaya T.S. Problems and trends in the design of aperture reproductive lens for microprojection. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii = Engineering Journal: Science and Innovation*, 2013, no. 7. (in Russian). DOI: 10.18698/2308-6033-2013-7-830
13. Volosov D.S. *Fotograficheskaya optika* [Photographic optics]. Moscow, Iskusstvo Publ., 1978. 543 p. (in Russian).
14. Ivanov P.D. *Nekotorye osobennosti rascheta shirokougol'nykh i svetosil'nykh ob"ektivov: avtoref. diss. kand. tekh. nauk* [Some features of wide-angle and large-aperture objective calculations: cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 1964. (in Russian).
15. Rusinov M.M. *Kompozitsiya opticheskikh sistem* [Optical system composition]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1989. 383 p. (in Russian).
16. Slyusarev G.G. *Metody rascheta opticheskikh sistem* [Optical system calculation methods]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1969. 672 p. (in Russian).
17. Slyusarev G.G. *Raschet opticheskikh sistem* [Optical system calculation]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1975. 640 p. (in Russian).

18. Sal'nikov A.V. *Analiz problem formirovaniya komp'yuternoy elementarnoy bazy kompozitsii opticheskikh sistem* [Analysis of formation problems for computer elementary base of optical system composition]. Saint-Petersburg, SPbGITMO Publ., 2008. 98 p. (in Russian).
19. Grammatin A.P., Romanova G.E., Balatsenko O.N. *Raschet i avtomatizatsiya proektirovaniya opticheskikh sistem* [Calculation and automatization of optical system designing]. SPb: NIU ITMO. 2013. 128 p. (in Russian).
20. Rovenskaya T.S., Lamkina E.O. Block-diagram analytical study algorithm for two-component reversible teleobjective. *Mezhdunarodnyy nauchnyy institut «EDUCATIO». Ezhemesyachnyy nauchnyy zhurnal*, 2015, no. 7(14), pp. 54-58. (in Russian).