

## РАСЧЁТ И АНАЛИЗ КОМПАКТНОГО ПЛАСТМАССОВО-ЛИНЗОВОГО РЕФРАКЦИОННО-ДИФРАКЦИОННОГО ВАРИООБЪЕКТИВА

*Грейсх Г.И., Ежов Е.Г., Сидякина З.А., Степанов С.А.*

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

### *Аннотация*

Представлены принципы и основные этапы компоновки оптической схемы вариообъектива, охватывающие выбор исходной схемы и её трансформацию путём включения ДЛ и замены стёкол РЛ наиболее технологичными и коммерчески доступными оптическими пластмассами. Приведены конструктивные параметры и результаты исследования рассчитанного компактного пластмассово-линзового рефракционно-дифракционного вариообъектива.

*Ключевые слова:* дифракционная линза, оптический пластик, рефракционная линза, оптическая схема, вариообъектив, хроматизм.

### *Введение*

В последние годы наблюдается существенный прогресс в области расчёта и проектирования, а также технологии изготовления вариообъективов, которые обеспечивают возможность непрерывного изменения масштаба формируемого ими изображения. Изменение масштаба изображения, сопровождающее зуммирование, т.е. изменение фокусного расстояния объектива, достигается за счёт плавного перемещения его компонентов. Однако высокое качество изображения переменного масштаба требует использования сложных многолинзовых конструкций, большого числа различных марок оптического стекла и, прежде всего, особых флинтгов и кронов. Без асферизации преломляющих поверхностей стеклянных рефракционных линз (РЛ) также невозможно обойтись.

В результате высококачественные вариообъективы имеют весьма высокую стоимость, что сдерживает их использование в массовых видеокамерах, системах наблюдения, мобильных телефонах и т. д.

Попытка снизить стоимость таких объективов за счёт использования штампованных пластмассовых РЛ автоматически приводит к снижению качества формируемого изображения. Это вызвано тем, что дисперсионные характеристики технологичных и коммерчески доступных сегодня оптических пластмасс аналогичны характеристикам лишь двух-трёх марок обычных флинтгов и кронов. В результате требуемая для формирования высококачественного цветного изображения коррекция хроматизма оказывается недостижимой.

Проблема коррекции хроматизма рефракционно-линзовых объективов при ограниченном выборе оптических материалов может успешно решаться путём включения в объектив одной или нескольких дифракционных линз (ДЛ) [1–7]. Более того, как показано в работах [8–10], использование ДЛ в объективах с фиксированным фокусным расстоянием позволяет весьма эффективно производить коррекцию хроматизма первого порядка, используя в качестве рефракционных материалов лишь наиболее технологичные и коммерчески доступные оптические пластмассы. При этом коррекция хроматизма более высоких порядков, характерного для оптических систем, включающих дифракционные элементы, может успешно осуществ-

ляться за счёт асферизации пластмассовых РЛ, стоимость которой на несколько порядков ниже стоимости асферизации РЛ, выполненных из оптического стекла [11, 12].

Действительно, современные методы формообразования на основе прецизионной штамповки позволяют с требуемой оптической точностью относительно просто формировать поверхности пластмассовых РЛ практически любой формы, что часто оказывается недоступным при использовании стекла, легко тиражировать пластмассовые линзы с асферическими преломляющими поверхностями и, кроме того, при необходимости – штамповать эти поверхности с дифракционным микрорельефом [13, 14].

### *1. Компоновка оптической схемы*

В работе [15] была представлена методика трансформации выбранной исходной схемы, а также расчёта конструктивных параметров компактного пластмассово-линзового вариообъектива, включающего ДЛ. Что же касается выбора исходной схемы, то его целесообразно производить на основе анализа патентных и литературных источников, исходя из требований к основным оптическим характеристикам:

- перепад значений фокусного расстояния и относительного отверстия;
- количество подвижных линзовых групп, обеспечивающих заданный перепад значений фокусного расстояния;
- габарит системы в целом (расстояние от вершины фронтальной поверхности объектива до плоскости фотоприёмника);
- формат матричного фотоприёмника и связанный с ним диапазон значений углового поля в пространстве предметов;
- допустимое отступление от телецентрического хода главного луча в пространстве изображений;
- радиус поверхности Петцваля, на которой исходный объектив смог бы формировать стигматическое изображение, если бы был свободен от всех монохроматических аберраций за исключением кривизны поля.

Опираясь на эти требования, в качестве исходной схемы для последующей её трансформации была выбрана схема стеклянно-линзового компактного вариообъектива, предложенная в [16]. Её отличитель-

ными положительными свойствами являются простота конструкции и компактность, т.е. относительно малый габарит, равный 12,4 мм. Фокусное расстояние и диафрагменное число вариообъектива в короткофокусной, промежуточной и длиннофокусной конфигурациях соответственно равны  $f'_1 = 3,45$  мм,  $K_1 = 3$ ;  $f'_2 = 5,17$  мм,  $K_2 = 4,2$ ;  $f'_3 = 8,18$  мм,  $K_3 = 5,5$ . При зуммировании фронтальная отрицательная линза этого объектива неподвижна относительно фотоприёмника. Подвижны – силовой положительный компонент (СПК), расположенный за фронтальной линзой и состоящий из силовой положительной и коррекционной отрицательной линз, а также следующая за СПК вторая положительная линза. Перед плоскостью изображения размещена плоскопараллельная пластина, имитирующая защитное стекло матричного фотоприёмника. Оптическим материалом положительной линзы СПК является модель тяжёлого крона ( $n_d = 1,618$ ,  $v_d = 63,4$ ), а материалом коррекционной отрицательной линзы – модель флинта ( $n_d = 1,689$ ,  $v_d = 31,1$ ). Материалом фронтальной и оконечной линз объектива является модель лёгкого крона ( $n_d = 1,487$ ,  $v_d = 70,2$ ).

Подвижность СПК и следующей за ней положительной линзы призвана обеспечить совмещение плоскости изображения с плоскостью фотоприёмника при зуммировании. Необходимость совмещения обусловлена тем, что в современных цифровых камерах фокусировка на выбранный предмет осуществляется автоматически, но этот процесс инерционен. Поэтому одним из требований к вариообъективам цифровых камер является совмещение плоскости изображения с плоскостью фотоприёмника во всём диапазоне значений фокусного расстояния без дополнительной подфокусировки.

Трансформация исходной схемы объектива сводилась, прежде всего, к замене стёкол РЛ на оптические пластмассы и введению ДЛ в схему объектива в соответствии с методикой, описанной в работе [15]. При переходе на пластмассы в качестве материала силовой положительной линзы СПК был выбран флинтоподобный пластик – поликарбонат (ПК), а в качестве материала всех остальных линз – кроноподобный пластик – полиметилметакрилат (ПММА). Оптимальное сочетание дисперсионных свойств оптических пластмасс и ДЛ позволило достичь приемлемой коррекции первичного хроматизма во всех конфигурациях объектива, обеспечивающих заданный перепад его фокусного расстояния.

## 2. Расчёт и исследование вариообъектива

При расчёте компактного пластмассово-линзового рефракционно-дифракционного вариообъектива ставилась задача оценить возможности его работы в режиме «день-ночь», обеспечивая при этом максимальное разрешение во всём диапазоне зуммирования. Режим «день-ночь» предполагает три варианта освещения объекта: естественное дневное освещение, сумеречное освещение и искусственное освещение инфракрасным (ИК) прожектором [17].

При естественном дневном освещении для обеспечения правильной цветопередачи используется светофильтр, отсекающий УФ- и ИК-составляющие спектра [18]. В результате рабочий спектральный диапазон объектива считают ограниченным синей  $F$ - и красной  $C$ -линиями в спектре атома водорода ( $\lambda_F = 0,48613$  мкм и  $\lambda_C = 0,65626$  мкм). В случае сумеречного освещения используется расширенный спектральный диапазон, охватывающий не только видимую, но и ближнюю ИК-область спектра ( $\lambda_{\min} = \lambda_F = 0,48613$  мкм,  $\lambda_{\max} = 0,9$  мкм). Наконец, в ночное время используется искусственная ИК-подсветка с помощью светодиодного прожектора. Для охранных систем видеонаблюдения в прожекторах используются светодиоды с центральной длиной волны квазимонохроматической линии (начиная с  $\bar{\lambda} = 0,8$  мкм) [19, 20].

При скомпенсированном до приемлемого уровня хроматизме положения основным фактором, препятствующим расширению рабочего спектрального диапазона, является сферохроматизм. Попытка снижения сферохроматизма простых по конструкции вариообъективов сопровождается уменьшением радиуса кривизны Петцваля и, как следствие, приводит к снижению разрешения на краю поля зрения. В связи с этим при расчётах сферохроматизм корректировался до величины, соответствующей приемлемому значению радиуса кривизны Петцваля.

С целью достижения максимально возможного для выбранной схемы разрешения во всём диапазоне зуммирования представлялось необходимым обеспечить совмещение плоскости наилучшей установки с плоскостью фотоприёмника. Напомним, что под плоскостью наилучшей установки понимают плоскость, в которой качество изображения, оцениваемое по выбранному критерию, является наивысшим. Достичь указанного совмещения позволила одновременная оптимизация конструктивных параметров объектива в пяти конфигурациях.

В результате был получен вариообъектив, оптическая схема которого представлена ниже на рис. 1, а конструктивные параметры сведены в таблицы 1–3.

В таблице 1 порядок дифракции  $m$  и коэффициенты  $A_p$  определяют распределение фазовой задержки по апертуре ДЛ в соответствии с уравнением [21]:

$$\psi = m \sum_{p=1}^P A_p \rho^{2p}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – расстояние, отсчитываемое от оптической оси.

При описании структуры ДЛ уравнением (1) её оптическая сила определяется коэффициентом  $A_1$  и номером дифракционного порядка  $m$ :

$$\phi = -A_1 \lambda m / \pi. \quad (2)$$

Коэффициенты же  $A_p$  при  $p = 2, 3, \dots, P$  определяют вклад ДЛ в сферическую aberrацию третьего, пятого и последующих порядков.

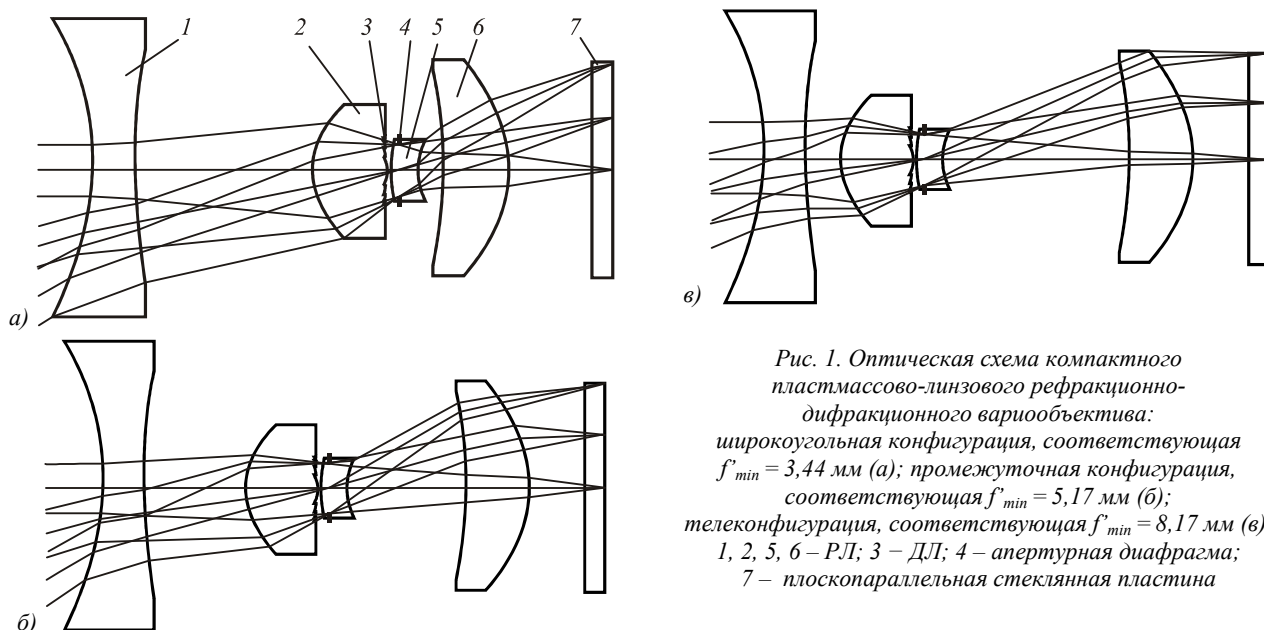


Рис. 1. Оптическая схема компактного пластмассово-линзового рефракционно-дифракционного вариообъектива: широкоугольная конфигурация, соответствующая  $f'_{min} = 3,44$  мм (а); промежуточная конфигурация, соответствующая  $f'_{min} = 5,17$  мм (б); телеконфигурация, соответствующая  $f'_{min} = 8,17$  мм (в). 1, 2, 5, 6 – РЛ; 3 – ДЛ; 4 – апертурная диафрагма; 7 – плоскопараллельная стеклянная пластина

Таблица 1. Основные конструктивные параметры вариообъектива

Номер поверхности	Радиус $r$ , мм	Толщина $d$ , мм	Оптический материал
ПП*	$\infty$	$\infty$	–
1	-5,032	1,090	ПММА
2	41,440	Изменяемая $d_2$	–
3	1,995	1,660	ПК
4**	$\infty$	0,100	–
5	4,733	0,343	ПММА
АД***	$\infty$	0,157	ПММА
6	1,593	Изменяемая $d_6$	–
7	-7,902	1,790	ПММА
8	-2,229	Изменяемая $d_8$	–
9	$\infty$	0,500	ВК7
ПИ****	$\infty$	0	–

\* ПП – плоскость предмета;  
 \*\* микроструктура ДЛ; номер дифракционного порядка  $m = 1$ , коэффициенты разложения фазовой задержки  $A_1 = -162,047 \text{ мм}^{-2}$ ;  $A_2 = -47,406 \text{ мм}^{-4}$ ;  $A_3 = 30,795 \text{ мм}^{-6}$ ;  $A_4 = 99,626 \text{ мм}^{-8}$ ;  $A_5 = -67,433 \text{ мм}^{-10}$ ;  $A_6 = -24,430 \text{ мм}^{-12}$ ; микроструктура содержит 27 зон Френеля, минимальная ширина зоны – 13,4 мкм;  
 \*\*\* АД – апертурная диафрагма диаметром 1,25 мм;  
 \*\*\*\* ПИ – плоскость изображения.

Таблица 2. Параметры вариообъектива, изменяемые при зуммировании

Оптическая характеристика	Номер конфигурации				
	1	2	3	4	5
Фокусное расстояние $f'$ , мм	3,44	4,42	5,17	6,67	8,17
Дифрагменное число $K$	2,85	3,45	3,90	4,77	5,50
Угловое поле в пространстве предметов $2\omega$ , град	73,2	56,9	49,6	40,5	34,5
Толщина $d_2$ , мм	3,991	3,041	2,545	1,768	1,086
Толщина $d_6$ , мм	0,499	1,864	2,717	4,026	4,990
Толщина $d_8$ , мм	2,270	1,855	1,498	0,966	0,684

Приведённые в таблице 2 данные об угловом поле вариообъектива при различных значениях его фокусного расстояния обеспечивают постоянство размера поля изображения  $2y' = 5$  мм.

Коническая постоянная  $k$  и коэффициенты полиномов  $\alpha_i$  таблицы 3 определяют форму асферической поверхности, задаваемую уравнением [21]:

$$z = \frac{c\rho^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2\rho^2}} + \sum_{i=2}^l \alpha_i \rho^{2i}, \quad (3)$$

где  $z$  – координата точки поверхности, отстоящей от оптической оси на расстояние  $\rho$  в системе координат, связанной с вершиной этой поверхности,  $c = 1/r$  – кривизна поверхности в её вершине.

В таблице 4 представлены данные о полихроматическом разрешении в изображении, формируемом рассчитанным вариообъективом, в пяти конфигурациях при различных условиях освещения. Что же касается дисторсии вариообъектива, то она во всех конфигурациях, так же, как и у исходного стеклянно-линзового объектива, не превышает 5%.

Таблица 3. Дополнительные характеристики асферических поверхностей вариообъектива

Номер поверхности	Коническая постоянная $k$	Коэффициент асферичности			
		$\alpha_2, \text{мм}^{-3}$	$\alpha_3, \text{мм}^{-5}$	$\alpha_4, \text{мм}^{-7}$	$\alpha_5, \text{мм}^{-9}$
1	0,356	$4,123 \cdot 10^{-3}$	$-1,905 \cdot 10^{-5}$	$-4,966 \cdot 10^{-6}$	$4,733 \cdot 10^{-7}$
2	-600,7	$-0,155 \cdot 10^{-3}$	$3,251 \cdot 10^{-6}$	$-9,766 \cdot 10^{-6}$	$8,029 \cdot 10^{-7}$
3	0,044	$-7,229 \cdot 10^{-3}$	$5,295 \cdot 10^{-3}$	$-3,877 \cdot 10^{-3}$	$9,047 \cdot 10^{-4}$
4	0	0,083	-0,136	0,101	-0,021
5	-215,4	0,193	-0,465	0,451	-0,158
6	-0,563	$1,924 \cdot 10^{-3}$	-0,202	0,501	-0,449
7	0,859	-0,010	$-1,984 \cdot 10^{-3}$	$6,765 \cdot 10^{-4}$	$-1,529 \cdot 10^{-4}$
8	-0,340	0,011	$-3,189 \cdot 10^{-3}$	$6,895 \cdot 10^{-4}$	$-5,817 \cdot 10^{-5}$

Таблица 4. Полихроматическое разрешение в изображении, формируемом компактным пластмассово-линзовым рефракционно-дифракционным вариообъективом

Вид освещения	Номер конфигурации				
	1	2	3	4	5
	Полихроматическое разрешение вариообъектива по всему полю изображения при 50% контрасте $N_{0,5}, \text{мм}^{-1}$				
дневное	64	61	67	62	61
сумеречное	29	33	32	28	27
ночное при $\bar{\lambda} = 0,8 \text{ мкм}$	17	35	27	19	17
	Полихроматическое разрешение вариообъектива по всему полю изображения при 20% контрасте $N_{0,2}, \text{мм}^{-1}$				
дневное	144	142	150	144	140
сумеречное	93	93	108	92	92
ночное при $\bar{\lambda} = 0,8 \text{ мкм}$	26	64	42	30	26

Представленные в статье данные о размере полезного поля изображения и разрешении позволяют сделать вывод о том, что при дневном освещении рассчитанный пластмассово-линзовый вариообъектив позволит в полной мере использовать потенциальные возможности формирования высококачественного изображения пятимегапиксельным матричным фотоприёмником формата 1:3,6". При этом изображение с сохранением разрешения предельного для глаза человека ( $N_{0,2} = 4 \text{ мм}^{-1}$ ) может быть увеличено до цифрового формата №2 11×15 (111×152 мм<sup>2</sup>) [22].

Расширение спектрального диапазона в ИК-область спектра приводит к снижению разрешения, но оно остаётся вполне приемлемым для сумеречного освещения. Что же касается работы объектива в ночном режиме при использовании светодиодной ИК-подсветки, то приемлемое разрешение во всём диапазоне зуммирования (даже на минимально возможной длине волны квазимонохроматической линии  $\bar{\lambda} = 0,800 \text{ мкм}$ ) рас-

считанный вариообъектив не обеспечивает. Это связано с тем, что из-за значительных хроматических аберраций положение плоскости наилучшей установки относительно вершины фронтальной поверхности объектива при зуммировании изменяется. Если же от зуммирования отказаться, то автофокусировка будет выводить объектив на разрешение от  $55 \text{ мм}^{-1}$  до  $110 \text{ мм}^{-1}$  при 20% контрасте и от  $30 \text{ мм}^{-1}$  до  $50 \text{ мм}^{-1}$  при 50% контрасте в зависимости от величины зафиксированного фокусного расстояния.

**Заключение**

Представлены принципы и основные этапы компоновки оптической схемы вариообъектива, охватывающие выбор исходной схемы и её трансформацию путём включения ДЛ и замены стёкол РЛ наиболее технологичными и коммерчески доступными оптическими пластмассами. Приведены конструктивные параметры и результаты исследования рассчитанного

компактного пластмассово-линзового рефракционно-дифракционного вариообъектива.

Показано, что если спектральный диапазон освещения ограничен  $\lambda_F$ - и  $\lambda_C$ -спектральными линиями, то разрешение в изображении, формируемом рассчитанным вариообъективом, соответствует разрешению лучших образцов традиционных стеклянно-линзовых объективов данного класса (см., например, [23, 24]). Кроме того, показано, что ценой за компактную и малоэлементную схему вариообъектива является некомпенсированный сферохроматизм, который приводит к снижению разрешения при расширении рабочего спектрального диапазона в ИК-область. И если разрешение остаётся ещё вполне приемлемым для сумеречного освещения, то при работе объектива в ночном режиме со светодиодной ИК-подсветкой приемлемое разрешение обеспечивается только благодаря автофокусировке при фиксированном фокусном расстоянии.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских учёных № МД-2293.2012.9.

### Литература

1. **Ган, М.А.** Теория и методы расчёта голограммных и киноформных оптических элементов / М.А. Ган. – Л.: ГОИ, 1984. – 140 с.
2. **Stone, T.** Hybrid diffractive-refractive lenses and achromats / T. Stone, N. George // Applied Optics. – 1988. – Vol. 27, N 14. – P. 2960-2971.
3. **Rouke, J.L.** Design of three element night-vision goggle objectives / J.L. Rouke, M.K. Crawford, D.J. Fischer, C.J. Harkrider, D.T. Moore, T.H. Tomkinson // Applied Optics. – 1998. – Vol. 37, N 4. – P. 622-626.
4. **Hua, H.** Design of an ultralight and compact projection lens / H. Hua, Y. Ha, J.P. Roland // Applied Optics. – 2003. – Vol. 42, N 1. – P. 97-107.
5. <http://www.dpreview.com/news/0009/0009060>.
6. **Greisukh, G.I.** Diffractive-refractive hybrid corrector for achro- and apochromatic corrections of optical systems / G.I. Greisukh, E.G. Ezhov, S.A. Stepanov // Applied Optics. – 2006. – Vol. 45, N 24. – P. 6137-6141.
7. **Грейсух, Г.И.** Дифракционно-рефракционный корректор третичного спектра / Г.И. Грейсух, Е.Г. Ежов, С.В. Казин, С.А. Степанов // Оптический журнал. – 2010. – Т. 77, № 9. – С. 22-29.
8. **Greisukh, G.I.** Design of achromatic and apochromatic plastic microobjectives / G.I. Greisukh, E.G. Ezhov, I.A. Levin, S.A. Stepanov // Applied Optics. – 2010. – Vol. 49, N 23. – P. 4379-4384.
9. **Грейсух, Г.И.** Расчёт пластмассово-линзовых микрообъективов суперхроматов / Г.И. Грейсух, Е.Г. Ежов, И.А. Левин, С.А. Степанов // Компьютерная оптика. – 2011. – Т. 35, № 4. – С. 473-479. – ISSN 0134-2452.
10. **Грейсух, Г.И.** Моделирование и исследование суперхроматизации рефракционных и рефракционно-дифракционных оптических систем / Г.И. Грейсух, Е.Г. Ежов, И.А. Левин, А.В. Калашников, С.А. Степанов // Компьютерная оптика. – 2012. – Т. 36, № 3. – С. 395-404. – ISSN 0134-2452.
11. **Грейсух, Г.И.** Сравнительный анализ хроматизма дифракционных и рефракционных линз / Г.И. Грейсух, Е.Г. Ежов, С.А. Степанов // Компьютерная оптика. – 2005. – № 28. – С. 60-65. – ISSN 0134-2452.
12. **Schaub, M.P.** The design of plastic optical systems / M.P. Schaub. – Bellingham: SPIE Press, 2009. – 230 p.
13. **Radtke, D.** Lazer-lithography on non-planar surfaces / D. Radtke, U.D. Zeitner // Optics Express. – 2007. – Vol. 15, N 3. – P. 1167-1174.
14. <http://www.gsoptics.com>.
15. **Greisukh, G.I.** Diffractive-refractive correction units for plastic compact zoom lenses / G.I. Greisukh, E.G. Ezhov, A.V. Kalashnikov, S.A. Stepanov // Applied Optics. – 2012. – Vol. 51, N 20. – P. 4597-4604.
16. **Komatsu, A.** Miniature zoom lens / A. Komatsu, A. Shimizu, K. Honda // U.S. patent, 2006. – US 7136232.
17. <http://www.mvcctv.ru/articles/nightview/>.
18. <http://www.hoyafilter.com/hoya/products/generalfilters/uvircut/>
19. **Чура, Н.И.** Некоторые аспекты применения ИК-подсветки при видеонаблюдении / Н.И. Чура // Специальная техника. – 2002. – № 3. – С. 35-39.
20. <http://www.armosystems.ru/system/ik-podsvetka.ahtm>.
21. <http://www.zemax.com>.
22. **Lenhardt, K.** Optics for digital photography / K. Lenhardt // Proc. SPIE. – 2007. – Vol. 6834. – P. 68340W-1-68340W-18.
23. **Yamamoto, Y.** Zoom lens system and image pickup device / Y. Yamamoto // U.S. patent, 2009. – US 7529035.
24. **Weng, C.** Miniature zoom lens system / C. Weng, S. Chen, C. Hu, C. Hsu // U.S. patent, 2012. – US 8098443.

### References

1. **Gan, M.A.** Theory and design methods of the hologram and kinoform optical elements / M.A. Gan. – Leningrad: GOI, 1984. – 140 p. – (In Russian).
2. **Stone, T.** Hybrid diffractive-refractive lenses and achromats / T. Stone, N. George // Applied Optics. – 1988. – Vol. 27, N 14. – P. 2960-2971.
3. **Rouke, J.L.** Design of three element night-vision goggle objectives / J.L. Rouke, M.K. Crawford, D.J. Fischer, C.J. Harkrider, D.T. Moore, T.H. Tomkinson // Applied Optics. – 1998. – Vol. 37, N 4. – P. 622-626.
4. **Hua, H.** Design of an ultralight and compact projection lens / H. Hua, Y. Ha, and J.P. Roland // Applied Optics. – 2003. – Vol. 42, N 1. – P. 97-107.
5. <http://www.dpreview.com/news/0009/0009060>.
6. **Greisukh, G.I.** Diffractive-refractive hybrid corrector for achro- and apochromatic corrections of optical systems / G.I. Greisukh, E.G. Ezhov, S.A. Stepanov // Applied Optics. – 2006. – Vol. 45, N 24. – P. 6137-6141.
7. **Greisukh, G.I.** Diffraction-refraction corrector of the tertiary spectrum / G.I. Greisukh, E.G. Ezhov, S.V. Kazin, S.A. Stepanov // Journal of Optical Technology. – 2010. – Vol. 77, N 9. – P. 542-547.
8. **Greisukh, G.I.** Design of achromatic and apochromatic plastic microobjectives / G.I. Greisukh, E.G. Ezhov, I.A. Levin, S.A. Stepanov // Applied Optics. – 2010. – Vol. 49, N 23. – P. 4379-4384.
9. **Greisukh, G.I.** Design of superachromatic plastic microobjectives / G.I. Greisukh, E.G. Ezhov, I.A. Levin, S.A. Stepanov // Computer optics. – 2011. – Vol. 35 (4). – P. 473-479. – (In Russian).
10. **Greisukh, G.I.** Modeling and investigation superachromatization refractive and refractediffractive optical systems / G.I. Greisukh, E.G. Ezhov, I.A. Levin, A.V. Kalash-

- nikov, S.A. Stepanov // Computer optics. – 2012. – Vol. 36 (3). – P. 395-404. – (In Russian).
11. Greisukh, G.I. Comparative analysis of the chromatic aberrations of the diffractive and refractive lenses / G.I. Greisukh, E.G. Ezhov, S.A. Stepanov // Computer optics. – 2005. – N 28. – P. 60-65. – ISSN 0134-2452. – (In Russian).
  12. Schaub, M.P. The design of plastic optical systems / M.P. Schaub. – Bellingham: SPIE Press, 2009. – 230 p.
  13. Radtke, D. Lazer-lithography on non-planar surfaces / D. Radtke, U.D. Zeitner // Optics Express. – 2007. – Vol. 15, N 3. – P. 1167-1174.
  14. <http://www.gsoptics.com>.
  15. Greisukh, G.I. Diffractive-refractive correction units for plastic compact zoom lenses / G.I. Greisukh, E.G. Ezhov, A.V. Kalashnikov, S.A. Stepanov // Applied Optics. – 2012. – Vol. 51, N 20. – P. 4597-4604.
  16. Komatsu, A. Miniature zoom lens / A. Komatsu, A. Shimizu, K. Honda // U.S. patent, 2006. – US 7136232.
  17. <http://www.mvccvtv.ru/articles/nightview/>
  18. <http://www.hoyafilter.com/hoya/products/generalfilters/uvircut/>
  19. Chura, N.I. Some aspects of the use of IR illumination for CCTV / N.I. Chura // Special Technics. – 2002. – N 3. – P. 35-39. – (In Russian).
  20. <http://www.aromosystems.ru/system/ik-podsvetka.ahtm>.
  21. <http://www.zemax.com>.
  22. Lenhardt, K. Optics for digital photography / K. Lenhardt // Proc. SPIE. – 2007. – Vol. 6834. – P. 68340W-1–68340W-18.
  23. Yamamoto, Y. Zoom lens system and image pickup device / Y. Yamamoto // U.S. patent, 2009. – US 7529035.
  24. Weng, C. Miniature zoom lens system / C. Weng, S. Chen, C. Hu, C. Hsu // U.S. patent, 2012. – US 8098443.

## DESIGN AND ANALYSIS OF THE COMPACT PLASTIC REFRACTIVE-DIFFRACTIVE ZOOM LENS

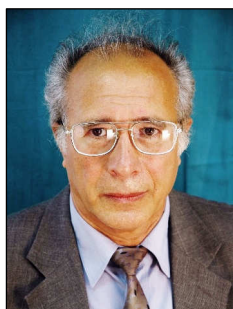
G.I. Greysukh, E.G. Ezhov, Z.A. Sidiyakina, S.A. Stepanov  
Penza State University of Architecture and Construction

### Abstract

The principles and main stages arranging of the zoom lens optical scheme are presented. They include a selection of the original scheme and its transformation by the addition of the diffractive lens and replace the glass of refractive lenses most technologically and commercially available optical plastics. Design parameters and results of analysis of designed the compact plastic refractive-diffractive zoom lens are given.

**Key words:** diffractive lens, optical plastic, refractive lens, optical scheme, zoom lens, color.

### Сведения об авторах



**Грейсук Григорий Исаевич**, 1943 года рождения. В 1965 году окончил Пензенский политехнический институт по специальности «Радиотехника». Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук (1990 г.), профессор. Работает заведующим кафедрой физики и химии Пензенского государственного университета архитектуры и строительства. Является членом Европейского оптического общества (EOS) и Российского оптического общества им. Д.С. Рождественского. Г.И. Грейсук – специалист в области расчёта оптических систем, дифракционной и градиентной оптики. В списке научных работ Г.И. Грейсуха 165 статей, 3 монографии, 11 авторских свидетельств и патентов.

E-mail: [grey@pguas.ru](mailto:grey@pguas.ru).

**Grigoriy Isaevich Greysukh** (b. 1943) graduated (1965) from Penza Politechnical Institute, majoring in radio engineering. He is the deserved worker of the Russian higher school, Doctor of Technical Sciences (1990), professor, chief of the Physics and Chemistry Department of Penza State University of Architecture and Construction. G.I. Greysukh is EOS and D.S. Rozhdestvensky Optical Society member. His current research interests include design of optical system, diffractive and gradient-index optics. He is co-author of 135 scientific papers, 3 monographs and 11 inventions and patents.



**Ежов Евгений Григорьевич**, 1977 года рождения. В 1999 году окончил Пензенский государственный университет по специальности «Радиотехника». Доктор физико-математических наук (2008 г.). Работает профессором кафедры информационных систем и компьютерного моделирования Пензенского государственного университета архитектуры и строительства. Специалист в области расчёта оптических систем, математического моделирования и защиты информации. В списке научных работ Е.Г. Ежова свыше 50 статей, учебник и 2 патента.

E-mail: [grey@pguas.ru](mailto:grey@pguas.ru).

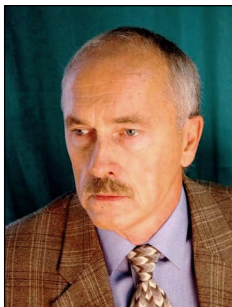
**Eugeny Grigorievich Ezhov** (b. 1977) graduated (1981) from the Penza State University majoring in radio engineering. He is Doctor of Physical and Mathematical Sciences (2008), professor of the Information Systems and Computer Modeling department of Penza State University of Architecture and Construction. His current research interests include design of optical systems, mathematical modeling, and data security. He is co-author over 55 scientific papers, tutorial and 2 patents.



**Сидякина Зоя Александровна**, 1980 года рождения. В 2002 году окончила Пензенский государственный педагогический университет по специальности «Учитель математики и физики». Ассистент кафедры физики и химии Пензенского государственного университета архитектуры и строительства.

E-mail: [grey@pguas.ru](mailto:grey@pguas.ru).

**Zoya Aleksandrovna Sidiyagina** (b. 1980) graduated (2002) from the Penza State Pedagogical University on a speciality «The mathematics teacher and physicists». She is assistant of the Physics and Chemistry Department of Penza State University of Architecture and Construction.



**Степанов Сергей Алексеевич**, 1951 года рождения. В 1974 году окончил Куйбышевский государственный университет (ныне – Самарский государственный университет) по специальности «Физика». Доктор физико-математических наук (1999 г.). Работает профессором кафедры физики и химии Пензенского государственного университета архитектуры и строительства. Является членом Европейского оптического общества (EOS) и Российского оптического общества им. Д.С. Рождественского. С.А. Степанов – специалист в области расчёта оптических систем, дифракционной и градиентной оптики. В списке научных работ С.А. Степанова 85 статей, 2 монографии, 7 авторских свидетельств и патентов.

E-mail: [grey@pguas.ru](mailto:grey@pguas.ru).

**Sergei Alekseevich Stepanov** (b. 1951) graduated (1974) from the Kuibyshev State University (presently, Samara State University), majoring in Physics. He is Doctor of Physical and Mathematical Sciences (1999), professor of the Physics and Chemistry Department of Penza State University of Architecture and Construction. S. Stepanov is a EOS and D.S. Rozhdestvensky Optical Society member. His current research interests include design of optical system, diffractive and gradient-index optics. He is co-author of 85 scientific papers, 2 monographs and 7 inventions and patents.

---

*Поступила в редакцию 18 марта 2013 г.*