

## **МЕТОДИ І СИСТЕМИ ОПТИЧНО-ЕЛЕКТРОННОЇ ТА ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ**

УДК 535.317.6

### **ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СВЕТОЗАЩИТНЫХ БЛЕНД И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДИАГРАММ ВИНЬЕТИРОВАНИЯ В ЧЕТЫРЕХЗЕРКАЛЬНЫХ АНАСТИГМАТАХ**

*Артюхина Н.К., Белорусский национальный технический университет, г. Минск,  
Республика Беларусь*

*Представлены принципы построения и методика расчета бленд и диаграмм виньетирования в четырехзеркальных анастигматах. Даны формулы параметрических характеристик. Объективы могут использоваться в космической оптике и оптических приборах, работающих в УФ и ИК областях спектра*

**Ключевые слова:** *бленды, анастигматы, методика расчета*

#### **Введение**

В последние десятилетия зеркальные системы нашли широкое применение во многих областях науки и техники, что обусловлено рядом существенных преимуществ, которыми они обладают. В чисто зеркальных объективах наряду с исследованием их коррекционных возможностей важное место занимает разработка мероприятий для защиты плоскости изображения от попадания постороннего света при минимальном виньетировании и экранировании. Под вредным светом понимают часть световой энергии, которая проходит через систему, но не участвует в построении изображения. Лучи рассеянного света могут пересекать в пространстве изображений плоскость выходного зрачка (в пределах его свободного отверстия) и плоскость изображения (в пределах поля зрения). Различают вредный свет первого и высших порядков: свет первого порядка претерпевает только одно отражение на поверхности, дающей рассеяние света, а свет второго и высшего порядков – два и более отражений.

Можно отметить ряд частных примеров, касающихся защиты от постороннего света и оценки виньетирования, особенно известны работы по трехзеркальным системам [1, 2].

#### **Введение бленд и методика их расчета**

В плоскость изображения в зеркальной системе помимо лучей, отраженных от зеркал, попадают также лучи, распространяющиеся от боковых частей поля зрения. Они минуют отражающие поверхности зеркал и создают более или менее однородный фон. Единственный способ устранения или хотя бы уменьшения этих вредных потоков – установка на их пути заслонов в виде трубок или диафрагм.

Основные принципы построения светозащитных бленд.

1) Специальные защитные бленды, конические раструбы или трубки устанавливаются на оправы или вставляются в отверстия зеркал таким образом, чтобы они не уменьшали относительного отверстия зеркального объектива, т.е. не срезали бы осевых пучков, строящих изображение вблизи оптической оси.

2) Выполняют схематический чертеж, где зеркала заменены главными плоскостями и указывают ход лучей, идущих из нескольких точек поля зрения и пересекающих плоскость входного зрачка в достаточно большом (4–10) количестве точек. По чертежу определяется наиболее целесообразная расстановка заслонов и трубок.

3) В области, расположенной около внутренней границы большого зеркала, устанавливается трубка обычно конической формы, защищающая изображение от вредных потоков.

4) В промежутке между зеркалами размещают цилиндрические трубки, которые создают потери для полезных потоков, но значительно меньшие, чем для вредных, т.к. наклоны вредных пучков больше наклонов полезных.

5) Иногда располагают цилиндрические бленды в пространстве предметов, которые задерживают достаточно много вредных пучков, почти не виньетируя полезные, но удлинняют систему, что является существенным конструктивным недостатком.

Опыт расчета бленд показывает, что трудность борьбы с вредными пучками света растет при увеличении поля зрения и уменьшается при малых  $D/f'$ . Уменьшение осевой длины приводит к увеличению углов, образуемых вредными потоками с оптической осью, что облегчает устранение вредных пучков.

Эффективность защиты плоскости изображения целесообразно рассматривать с помощью методики, используемой при расчете диаграмм виньетирования, когда все зеркала, от которых может отражаться посторонний свет, бленды, экраны и плоскость изображения переносятся в одно пространство. Методика использует теоретическое положение [3], по которому любой оптический элемент, находящийся в пространстве изображений (или в одном из промежуточных пространств), может быть заменен своим параксиальным изображением в пространстве объектов. При этом кривизна элемента может не приниматься во внимание, а диаметр элемента (т.е. зона  $u$ ) сохраняется, в то время как изображение переносится с увеличением  $\frac{s'}{s}$ . Эта идея использована С. Берчем

(С. Burch) в методе диаграмм коррекционных пластинок [4], который применяется при классификации и расчете зеркальных систем.

В многозеркальной системе целесообразно переносить все элементы (бленды и экраны) в пространство предметов, учитывая, что по правилу знаков лучи распространяются слева направо (на каждое нечетное зеркало многозеркального объектива они падают слева, а на четное – справа) и давая наглядное графическое представление о влиянии вредных потоков. Переносимые элементы являются воображаемыми (математической фикцией), поэтому несущественно, когда лучи света не проходят физически, они в любом случае воздействуют на посторонний свет и эффективны в светозащите.

### **Формулы расчета бленд**

Алгоритмы габаритного и параметрического расчета бленд в классической двухзеркальной системе, представлены в работе [5]. Рассмотрим пример введения необходимых бленд в многозеркальном объективе 4R-2b-1 [6], имеющем анастигматическую коррекцию. На рис. 1 зеркала 1, 2, 3, 4 заменены их глав-

ними плоскостями, центральне отвір в зеркалі 2 равно діаметру подвійного зеркала, поэтому лучи прямої засвітки на плоскість зображення не попадуть. Исследуем сторонній світ:

а) отражений тільки от зеркал 1 и 2;

б) который после последовательного отражения в системе зеркал 1-2-3 попадает вновь на зеркало 2 и отражается от него.

Сторонній світ, создаваемый зеркалами 3 и 4, не возникнет, если диаметр третьего зеркала сделать равным диаметру подвійного зеркала.

Для стороннего света, отраженного от зеркал 1 и 2, переносим центральное отвір в зеркале 2, оправы зеркал 1 и 2, оправы зеркал 1 и 4 (экраны), отвір в зеркале 3, а также плоскість зображення. На рис. 2, а возможные вредные потоки, проходящие мимо оправ и экранов на плоскість зображення, показаны штриховыми линиями; их срезают при помощи устанавливаемых бленд.

Около зеркал 2, 3 и 4 образуются не занятые ходом осевых лучей области (рис. 1), в которых могут быть установлены бленды  $M, K, N, P$ .

Положение бленд определяют ее координаты: высоты  $h$  от оптической оси и длины  $l$  относительно главных плоскостей зеркал, при этом учитывается коэффициент центрального экранирования  $\eta$ . Имеем следующие пропорции по ходу осевого I и экранированного II лучей (см. рис.1):

$$1) \quad h_M = h_1; \quad l_M = \frac{\eta h_2 - h_1}{\eta \alpha_2} \quad (1)$$

$$2) \quad h_K = \frac{\eta h_2 (1 + \Delta + \Delta')}{d_1 (\eta - 1) + 1 + \Delta + \Delta'}; \quad l_K = h_2 \frac{d_1 - (1 + \Delta + \Delta')}{d_1 (\eta - 1) + 1 + \Delta + \Delta'} (\eta - 1) \quad (2)$$

$$3) \quad h_N = \frac{1 + \eta}{3 - \eta}; \quad l_N = \frac{2(1 + \Delta')}{3 - \eta} \quad (3)$$

$$4) \quad h_P = \eta \frac{1 + 3\Delta'}{1 + \Delta' + 2\eta}; \quad l_P = \frac{(1 + \Delta')(\Delta' - \eta)}{1 + \Delta' + 2\eta} \quad (4)$$

Численный расчет дает следующие приведенные размеры бленд (при  $f' = 1$ ):

$$1) \quad h_M = 1,0; \quad l_M = 0,4708,$$

$$2) \quad h_K = 1,0434; \quad l_K = 0,9029,$$

$$3) \quad h_N = 0,5; \quad l_N = 0,6750,$$

$$4) \quad h_P = 0,2340; \quad l_P = -0,1340.$$

Наиболее эффективно срезают вредные пучки бленды, находящиеся вблизи плоскости зображення, но они всегда вносят большое виньетирование. Бленды  $K$  и  $M$  почти не влияют на срезание паразитных лучей, т.е. введение их нецелесообразно. Если бленды не вводить, то устраняется сторонній світ в плоскости зображення с угловым размером  $2\omega = 4^\circ$ , введение бленды  $N$  обеспечивает срезание паразитных лучей для линейного относительного размера  $y' = -\omega = 0,0468$ , ( $2\omega = 5^\circ 22'$ ). При увеличенном поле вводится бленда  $P$ . Опасный луч  $A$ , показанный на рис. 2, а, определяет необходимую длину  $l_p$ .

Контроль расчета бленд можно проводить не только графически, но и аналитически, используя для этого формулы расчета реальных лучей. Высота опасного луча  $A$  в обратном ходе в плоскости зеркала 1 равна

$$h_1^A = h_2^A + d_1 \operatorname{tg} \alpha' = h_2^A - d_1 \operatorname{tg}(\alpha - 2\gamma_2), \quad (5)$$

где  $\gamma_2$  – угол нормали с оптической осью в точке падения луча на зеркало 2;  $\alpha$  – угол между оптической осью и падающим на плоскость изображения лучом;  $\alpha$  – угол, образованный отраженным от зеркала 2 лучом  $A$  с оптической осью.

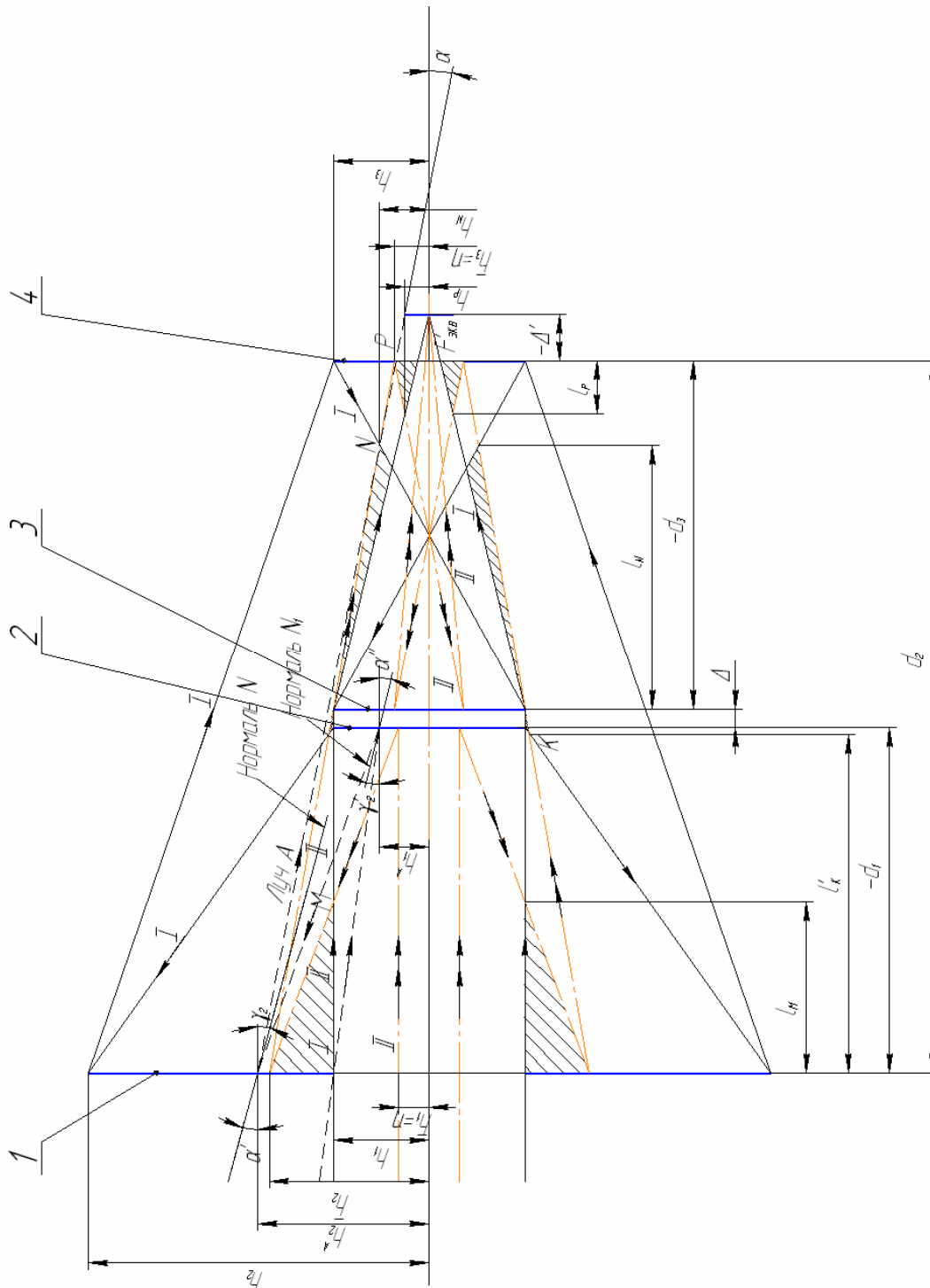


Рис. 1. Схема расстановки светозащитных бленд

Для определения значений углов имеем формулы:

$$\operatorname{tg} \gamma_2 = \frac{\operatorname{tg} \alpha (l_N + \Delta - d_1) + h_N}{r_2 - x_2 (1 + \sigma_2)}, \quad \text{где } \operatorname{tg} \alpha = \frac{h_N - h_P}{l_P - l_N - d_3}.$$

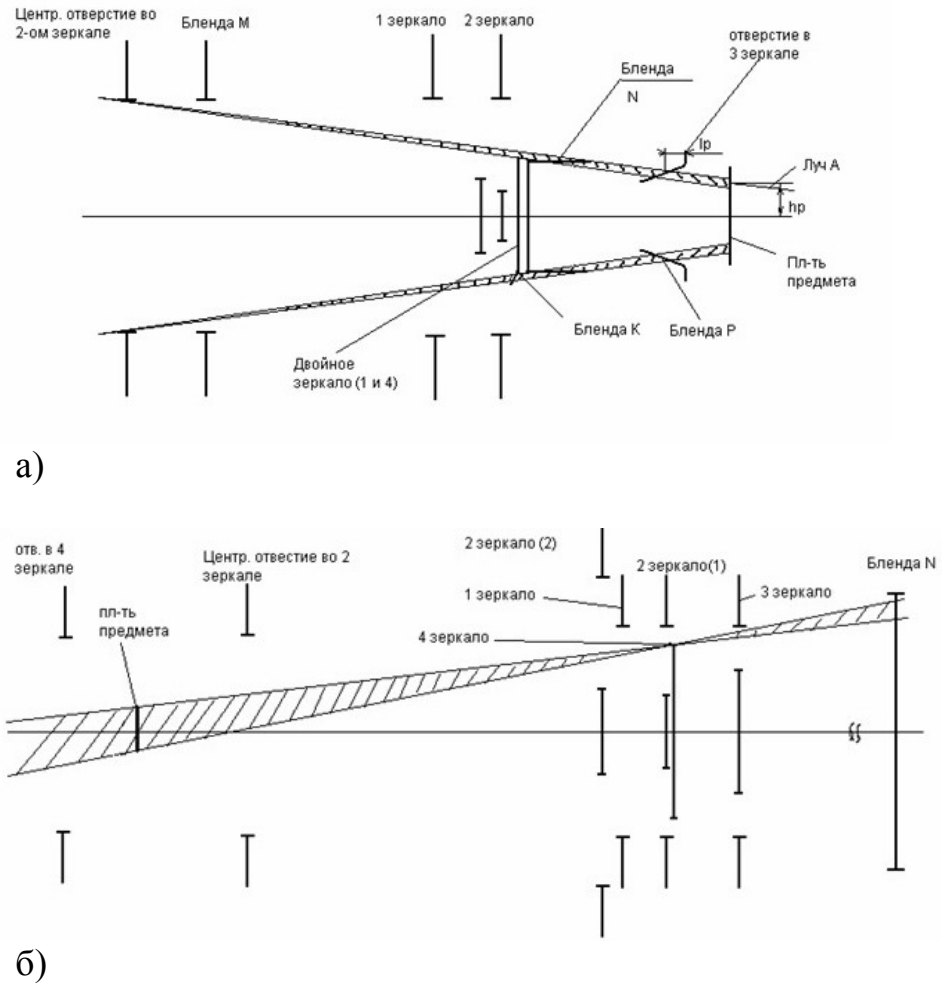


Рис. 2. Защита для постороннего света, где: а) отраженного от зеркал 1 и 2, б) отраженного от последовательности зеркал 1-2-3-2

Параметр  $\sigma_s = -e^2$  определяет квадрат эксцентриситета меридиональной кривой соответствующей зеркальной поверхности. Высота луча  $A$  на зеркале 2 после отражения от зеркала 1 (в обратном ходе):

$$H_2^A = h_1^A - d_1 \operatorname{tg} \alpha'' = h_1^A + d_1 (\alpha' - 2\gamma'_2), \quad (6)$$

где  $\gamma'_2$  – угол, образованный нормалью с оптической осью в точке падения опасного луча на зеркало 1.

$$\operatorname{tg} \gamma'_2 = \frac{h_1^A}{r_2 - x_1 (1 + \sigma_1)}.$$

Для объектива с фокусным расстоянием  $f' = 200$  мм и относительным отверстием 1:2 размеры бленд (в мм):  $l_P = 6,74$ ;  $h_P = 15,34$ ;  $l_N = 135,0$ ;  $h_N = 25,0$ .

Значение высоты  $H_2^A = 52,41$  мм больше высоты центрального отверстия зеркала 2, т.е. опасный луч  $A$  не попадает на плоскость изображения.

Учитывая посторонний свет высшего порядка, например, отраженный от следующей последовательности зеркал 1-2-3-2, нужно аналогично спроектиро-

вать по ходу паразитных лучей все отверстия и экраны (подразумевая под этим оправы зеркал, отверстия в зеркалах, бленды) и плоскость изображения в пространство предметов (см. рис. 2, б). Графическое построение определяет, что бленда  $N$  срежет все вредные потоки этого рассеянного света.

### **Диаграммы виньетирования**

После расчета всех бленд рассматривается виньетирование наклонных пучков в области Гауссовой оптики. Диаграммы виньетирования строят для оценки виньетирования наклонных пучков лучей при заданном значении поля зрения лучей. Они определяют действующее отверстие входного зрачка (площадь  $Q_{\omega}$ , заполняемая реально проходящими лучами). Действующая площадь также оценивается при переносе элементов, от которых может отразиться посторонний свет, в одно пространство (обычно в пространство предметов): зеркала, плоскость изображения, бленды и экраны. Алгоритм построения диаграмм следующий:

1) Расчет положения и размеров изображений всех диафрагм (оправ зеркал, центральных отверстий в зеркалах, оправ бленд и т.д.) и экранов, расположенных внутри или за системой в пространстве предметов:

– передний отрезок  $S = \frac{rS'}{2S' - r}$  рассчитывается по формуле отрезков для зеркальных поверхностей [7];

– размер диафрагмы рассчитывается по формуле  $D = \frac{S \cdot D'}{S'}$ .

2) Построение и проецирование полученных изображений в плоскость входного зрачка с центром проекции в определяемой внеосевой точке поля; используется формула

$k_{\omega} = \frac{1}{2} \left[ 1 - \frac{2l_2 y}{l_1 D} + \left( 1 + \frac{l_2}{l_1} \right) \frac{D_1}{D} \right]$ , при этом положение винетирующей диафрагмы с диаметром  $D_1$  определено относительно предметной плоскости отрезком  $l_1$  и относительно плоскости входного зрачка  $D - l_2$ .

3) Вычисление общей площади для всех проекций, которая определяет действующую площадь входного зрачка для заданного внеосевого пучка лучей.

Диаграммы виньетирования для объектива с вынесенной фокальной плоскостью представлены на рис. 3. Виньетирование для максимального угла наклона пучков лучей составляет 32%, что вполне удовлетворительно по энергетическим требованиям и изображению.

### **Выводы**

1. В многозеркальных объективах необходимо не только получить хорошее качество, но и надежно защитить плоскость изображения от постороннего света; при анализе паразитных лучей обязательно нужно рассматривать посторонний свет, который многократно отражается от зеркал.

2. Анализ по представленной методике проводят графически, когда элементы или их изображения, как массы, пропорциональные ее силе, располагаются

на рычаге с точкой опоры (началом отсчета положений) во входном зрачке, расположенном на расстоянии  $S_{p_1}$  от первой поверхности системы. При этом суммируется влияние отдельных элементов или их параксиальных изображений в предметном пространстве.

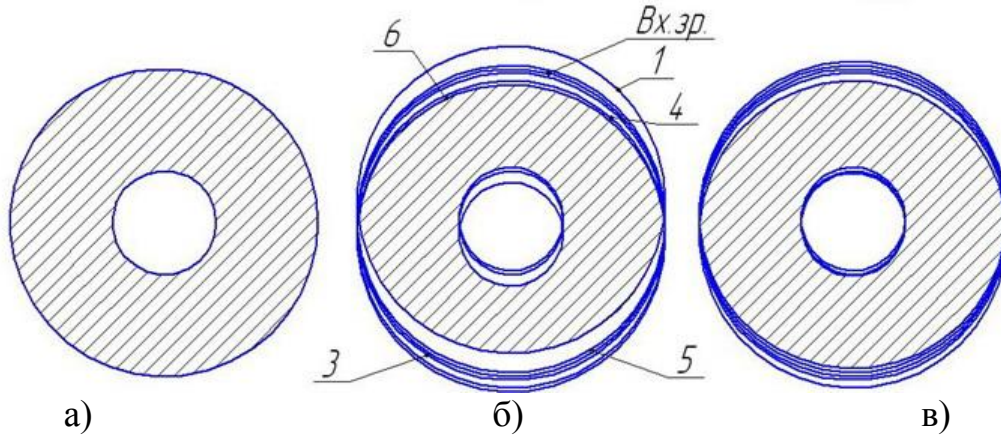


Рис.3. Диаграммы виньетирования по входному зрачку, где: а)  $2\omega=0^\circ$ ,  $\eta=1/3$ ; б)  $2\omega=6^\circ$ , виньетирование 32 %; в)  $2\omega=3^\circ$ , виньетирование 16 % (1 – центральное отверстие в зеркале 2; 2 – зеркало 4 после зеркал 1 и 2; 3 – зеркало 2; 4 – зеркало 3; 5 – зеркало 4; 6 – бленда N)

3. Выполненный расчет бленд в четырехзеркальном анастигмате показывает эффективность использования методики расчета для системы бленд по обеспечению защиты плоскости изображения.

4. Применение Гауссовой оптики при исследовании виньетирования позволяет лишь приближенно оценивать количество света, прошедшего через систему, но это вполне достаточно для обычных целей. В тех случаях, когда необходимо точно определить, пройдет тот или иной луч через систему, применяется расчет хода реальных лучей.

### Литература

- 1.Останин, В.И., Смолина Л.Л. . Светозащищенность зеркальных оптических систем // Оптический журнал. – 1995. - № 2. - С.43–49.
- 2.Чубей М.С., Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Организация системы защиты от постороннего излучения в системе астрографа для межпланетной солнечной стереоскопической обсерватории// Прикладная оптика – 2008: материалы 7-й Междунар. конф., Санкт-Петербург, 16–20 октября 2008 г.: в 3 т. – СПб., 2008. – Т. 3. – С. 194–196.
- 3.Герцбергер М. Современная геометрическая оптика – М.: Иностран. лит., 1962. – 487 с.
- 4.Burch C.R. Application of the plate diagram to reflecting telescope design.// Optica Acta. – 1979, v.26, № 4. P. 493 – 504.
- 5.Артюхина Н.К. Теория оптических систем и техническая оптика: метод. пособие – Мин-во высшего и среднего спец. образования БССР, БПИ. – Минск, 1985. – 21 с.
- 6.Артюхина Н.К., Шкадаревич А.П. Классификация четырехзеркальных анастигматов с двойным зеркалом // Доклады НАН Беларуси. – 2005. – Т. 49, № 1. – С. 43–46.
- 7.Артюхина Н.К. Теория и расчет оптических систем: учеб. пособие: в 2 ч. – Мин-во образования Респ. Беларусь, БНТУ. – Минск, 2004. – Ч. 1. – 134 с.

<p>Артиухіна Н.К. <b>Принципи побудови світлозахисних бленд та методика розрахунку діаграм вин'єнтування в чотиризеркальних анастигматах</b></p> <p>Представлені принципи побудови та методика розрахунку бленд та діаграм вин'єнтування в чотиризеркальних анастигматах. Наведені формули параметричних характеристик. Об'єктиви можуть використовуватись в космічній оптиці та оптичних приладах, що використовують УФ та ІЧ області спектру.</p> <p><b>Ключові слова:</b> бленди, анастигмати, методика розрахунку</p>	<p>Artioukhina N.K. <b>The designs of glare stops from extraneous light and vignetting diagram principles of four-mirrors anastigmats.</b></p> <p>The designs of glare stops from extraneous light and vignetting diagram principles of four-mirrors anastigmats were given. The performance data formula of different design variants are described. The objectives are useful for space optics and optical devices using UV and IR spectral range research.</p> <p><b>Keywords:</b> extraneous light, anastigmats, principles</p>
---	---

Надійшла до редакції  
10 березня 2010 року

УДК 621.384.3

## СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ С ЛОКАЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ЭКСПОЗИЦИИ

*Колобродов В.Г., Пивторак Д.А., Национальный технический университет Украины  
“Киевский политехнический институт”, г. Киев, Украина*

*Получено выражение, описывающее взаимосвязь между коэффициентом маскирования и коэффициентом сжатия экспозиции, позволяющее проводить количественное сравнение эффективности систем с локальным управлением экспозиции, использующих различные методы пространственной фильтрации изображения.*

**Ключевые слова:** локальное управление экспозиции

### **Введение. Постановка проблемы**

Для снижения потерь информации, вызванных несоответствием динамического диапазона входного сигнала динамическому диапазону регистратора изображения, в современных как цифровых, так и аналоговых фотографических и телевизионных системах, широко используется предварительная фильтрация оптического сигнала. При этом функции простейших фильтров выполняют экспонетрические устройства, которые обеспечивают подавление низких пространственных частот изображения, в основном не несущих полезной информации. При съёмке в условиях большого интервала яркостей в пределах кадра, экспонетрические устройства должны обеспечивать управление экспозицией каждого элементарного участка кадра, то есть, обеспечивать локальное управление экспозиции.

В зависимости от используемого подхода к пространственной фильтрации изображения, экспонетрические устройства с локальным управлением экспозиции, условно делятся на мультипликативные, аддитивные и комбинированные.

В фотографии большое распространение получил метод нерезкого маскирования [1], называемый также мультипликативным методом пространственной