повой накачки (для длины волны генерации 1,06 мкм) [2].

1. Mochalov, I.V. Nonlinear optics of the potassium gadolinium tungstate laser crystal Nd3+:KGd(WO4)2 // J. Opt. Technol. – 1995. – Vol. 62. – P. 746-756.

2. Yumashev, K.V., Savitski, V.G., Kuleshov, N.V., et.al. Laser performance of Ng-cut flash-lamp pumped Nd:KGW at high repetition rates // Appl. Phys. B. – 2007. – Vol. 89. – P. 39-43.

УДК 681. 7 (075.8)

ТРЕХЗЕРКАЛЬНЫЙ ДЛИННОФОКУСНЫЙ ОБЪЕКТИВ

Артюхина Н.К.[1], Тульева Н.Н.[2]

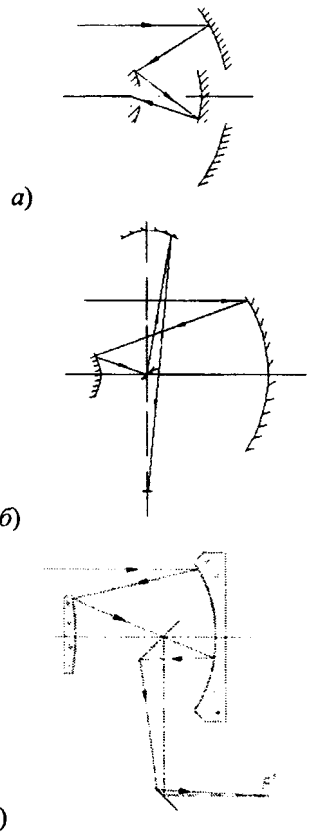
[1]*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь*
[2]*Санкт–Петербургский университет кино и телевидения, Санкт-Петербург, Россия*

Современные зеркальные системы находят широкое применение в различных оптических приборах, работающих в широкой области спектра. Двухзеркальные системы наиболее широко исследованы и классифицированы. Системы из трех зеркал обладают более широкими аберрационными возможностями по сравнению с ними. Они откоррегированы в отношении сферической аберрации, комы и астигматизма; в некоторых вариантах устранена кривизна изображения; имеются хорошие габаритные соотношения, но довольно часто плоскость приемника изображения отличается неудобным расположением.

Интересную группу среди трехзеркальных систем, получивших практическое применение, представляют объективы с промежуточным изображением после системы из двух первых зеркал. Зеркальный объектив (рисунок 1, *а*) [1] состоит из двух вогнутых эллиптических зеркал и выпуклого гиперболического, имеет длину l=1/7 f'и небольшое экранирование. В объективе исправлены четыре основных аберрации. Из-за чрезмерно высоких относительных отверстий зеркал (порядка 1:0,3) не технологически осуществима и обладать хорошими оптическими характеристиками: поле зрения 2ω получается очень малым из-за ограниченных размеров центральных отверстий в зеркалах.

На рисунке 1, *б* показана схема при расположении центров зеркальных поверхностей не на одной оси. Она получила дальнейшее развитие и используется в астрономической технике [2]. Возможно построение таких систем с изображением на бесконечности [3]. Для обеспечения коррекции основных аберраций их рационально рассчитывать для видимых увеличений $\Gamma = 6^x - 10^x$, поля зрения $2\omega = 1^\circ – 2^\circ$ при экранировании по диаметру ε = 0,2–0,35. Афокальные системы малых увеличений целесообразно конструировать с третьим зеркалом, оптическая ось которого перпендикулярна оптической оси объектива. В основном, угловой размер максимальной фигуры рассеяния не превышает $\Delta\sigma' = 10''$ по полю.

Расфокусированные зеркальные афокальные системы были использованы как базовые при создании нового длиннофокусного объектива [4]. В схеме обеспечивается действительное промежуточное изображение при положительной эквивалентной оптической силе системы из первых двух зеркал.



а) схема Тульевой Н.Н.; *б*) схема Korsch D., *в*) схема Артюхиной Н.Н.
Рисунок 1 – Схемы трехзеркальных объективов

Конструкция оптики позволяет уменьшить осевую длину объектива при оптической силе третьего зеркала в 2,5 – 3,5 раза превышающей оптическую силу первого зеркала. Подбором оптической силы третьего зеркала φ_3 была устранена кривизна изображения при выполнении условия $\varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2$. Плоские зеркала позволяют обеспечить компактную конструкцию и вынести фокальный узел зеркального объектива за габариты, что расширяет конструктивные возможности системы (размещение фильтров, систем устройств смены приемников и т.д.).

В системе асферические профили поверхностей зеркал: первое и третье зеркала – параболоиды, а второе – гиперболоид. Отметим, что намечающиеся

в последние годы успехи в изготовлении и контроле высокоточной асферики [5] дают возможность усложнять профили зеркал и расширять область их применения.

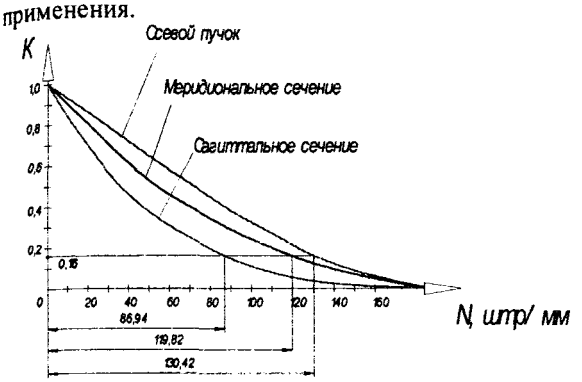


Рисунок 2 – ЧКХ для осевого и наклонного пучков ω=30'

Один из вариантов объектива, рассчитанный для фокусного расстояния f'=10000 мм, относительного отверстия D/f'=1/10, углового поля 2ω=1° обеспечивает исправление сферической аберрации, комы и астигматизма трего порядка. Для точки на оси диаметр кружка рассеяния 0,002 мм, разрешающая способность 130 штр/мм, число Штреля 0,66. На рисунке 2 показаны графики ЧКХ.

Кроме этого в объективе получена ортоскопическая коррекция (дисторсия не превышает 0,0063 %).

Центральное экранирование по площади в полученной системе составляет 6,25 %, коэффициент виньетирования k_ω порядка 0,43.

1. Зеркальный объектив: а.с. 425155 СССР, / В.Н. Чуриловский, Н.Н. Тульева. // Бюл. изобр. – 1974. - № 15.
2. М.С. Чубей, Г.И. Цуканова, А.В. Бахолдин. Специфика расчета оптической системы астрографа для проекта «Межпланетная солнечная стереоскопическая обсерватория».// Оптический журнал.-2007.№7.С.37-41.
3. Артюхина Н.К. Зеркальная анастигматическая система. Вести НАН РБ. Серия физико - технических наук. 2006. № 4. С. 57 - 59.
4. Артюхина Н.К. Решение о выдаче патента на изобретение 14.11.08. Заявка на получение патента РБ на изобретение «Зеркальный объектив» № А 2007 - 0834 от 05.07.2007.
5. www. gts. iac. es.

УДК 621.937

АНАЛИЗ РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ГИБКИХ ВОЛНОВОДНЫХ СИСТЕМАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕОРИЙ ЭЙЛЕРА-БЕРНУЛЛИ И ТИМОШЕНКО

Минченя В.Т., Степаненко Д.А., Юрчик Е.Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Гибкие волноводные системы для передачи ультразвуковых колебаний находят широкое применение в различных областях медицины и техники: ультразвуковой тромболизис, контактная литотрипсия, разогрев топлива при низких температурах, эндоскопическая нейрохирургия, очистка труднодоступных каналов технических систем. К сожалению, теория расчета таких систем отсутствует, а их разработка производится на основе экспериментальных исследований. В настоящее время известны лишь две работы, посвященные теоретическому исследованию гибких волноводов [1, 2]. Однако описанные в этих работах методики расчета не обладают достаточной общностью и не учитывают сложного характера колебаний волновода.

Объектом исследования в данной работе являются гибкие волноводы, состоящие из двух ступеней постоянного сечения, сопряженных между собой переходным участком с криволинейной образующей, форма которой описывается с помощью полиномиальной функции. Путем независимого рассмотрения продольных и изгибных колебаний волновода получены условия резонанса, из которых можно определить длины ступеней L_1 и L_2, для которых наблюдается совместный резонанс этих типов колебаний при заданной частоте f.

Для получения условий резонанса изгибных колебаний использованы две различные теории: Эйлера-Бернулли и Тимошенко. В теории Эйлера-Бернулли уравнение изгибных колебаний имеет вид

$$(EJ(x)\eta'')'' + \rho\omega^2 S(x)\eta = 0,$$

где η – амплитуда поперечных смещений, E – модуль упругости материала волновода, J – осевой момент инерции поперечного сечения волновода, ρ – плотность материала волновода, $\omega = 2\pi f$ – циклическая частота колебаний, S – площадь поперечного сечения волновода.

В теории Тимошенко для описания изгибных колебаний используется система уравнений вида

$$(EJ(x)\alpha')' + KGS(x)(\eta' - \alpha) + \omega^2\rho J(x)\alpha = 0$$

$$(KGS(x)\eta')' - (KGS(x)\alpha)' + \omega^2\rho S(x)\eta = 0,$$