

лучей в волноводе в приближении геометрической оптики. Уравнение поверхности волновода, ориентация, материал определяют пространственное и угловое распределение лучей на выходе волновода, что сохраняется в текстовых файлах (рис. 5). В программе при помощи задания функции мы можем получить волноводы различной формы (рис. 6). При помощи модульной системы источника и волновода были проведены численные эксперименты, при различных изменениях источника. Программные модули позволяют исследовать возможности рентгено-оптических элементов и систем на их основе.

#### Литература

1. Dudchik, Yu. I., Kolchevsky N.N., Komarov F.F. Microcapillary X-ray lens as a novel design of the refractive lens / Yu. I. Dudchik, N. N. Kolchevsky, F. F. Komarov // SPIE Proceedings. – Vol. 4766–2002.
2. Ladd, M. Structure Determination by X-ray Crystallography. Analysis by X-ray and Neutrons / M. Ladd, R. Palmer. – Springer. – P. 784.
3. Attwood, D. Soft X-rays and extreme ultraviolet radiation / D. Attwood. – Cambridge. – 1999.
4. Мишетт, А. Оптика рентгеновского излучения / А. Мишетт. – М.: Мир, 1989. – 352 с.
5. Kumakhov, M. A. Optics of beams / M. A. Kumakhov. – 1993. – Vol. 1. – P. 3–17.

УДК 681.7.054.22

### ПРИБОР ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТИ СКЛЕЙКИ ЛИНЗ Кузнецов А.В.<sup>1,2</sup>, Фёдорцев Р.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>ОАО «Пеленг»

Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В работе приводятся результаты разработки универсального автоколлимационного прибора для контроля погрешностей центрирования оптических систем на базе СТ-41.

**Ключевые слова:** склейка линз, контроль, оптическая система.

### DEVICE FOR CONTROLLING THE ACCURACY OF LENS FUSION Kuznetsov A.<sup>1,2</sup>, Fedortsev R.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Belarusian National Technical University

<sup>2</sup>JSC “PELENG”

Minsk, Belarus

**Abstract.** The paper presents the results of the development of a universal autocollimation device for monitoring the centering errors of optical systems based on ST-41.

**Key words:** bonding lenses, control, optical system.

Адрес для переписки: Фёдорцев Р.В., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь

В наши дни развитие оптического приборостроения требует создания светосильных оптических систем, которые способны формировать изображение в пределах большого углового поля в пространстве предметов. Высокие требования к параметрам оптических систем и к качеству образованного ими изображения определяют сложность их конструкции. Объективы проекционной фотолитографии или объективы камер профессионального телевидения содержат десятки линз, к качеству изготовления которых предъявляются жесткие требования.

По определению центрированной оптической системой является оптическая система, в которой центры кривизны сферических поверхностей и центры симметрии асферических поверхностей расположены на одной прямой, называемой оптической осью системы. При изготовлении оптических систем неизбежно возникают погрешности центрирования. Они могут возникать непосредственно при формо-

образовании самой оптической детали, при склеивании оптических деталей, при установке оптических деталей в оправы, при сборке ряда оптических компонентов в единую оптическую систему.

Среди зарубежных приборов для контроля погрешностей центрирования на сегодняшний день можно выделить следующие:

1. Приборы серии OptiCentric фирмы Trioptics GmbH (Германия).
2. Приборы серии OTS фирмы OEG GmbH (Германия).
3. Прибор Point Source Microscope фирмы Davidson Optronics (США).

Изучение принципиальных схем данных приборов, а также анализ их возможностей и технических характеристик позволил определить требования и тенденции современного оптического производства.

Цель данной работы – повышение точности метода склейки линз и контроля качества выход-

ных параметров готового изделия посредством разработки автоматизированных средств установки и фиксации оптических деталей.

**Разработка универсального автоколлимационного прибора для контроля погрешностей центрирования оптических систем на базе СТ-41 и анализ преимуществ зарубежных аналогов.** В ходе работы были выявлены следующие недостатки прибора СТ-41:

1. Ламповая подсветка. На сегодняшний день это довольно устаревшая и небезопасная для глаз оператора технология. Ламповая подсветка ведет к уставанию глаз и обладает меньшей яркостью относительно светодиодной.

2. Отсутствует вывод изображения на монитор. Нет средств визуализации.

3. Из-за конструкции направляющей оператору неудобно выполнять вертикальное перемещение микроскопа, чтобы изменять рабочий отрезок микроскопа. Данная конструкция не позволяет выполнять перемещение при необходимости быстро.

4. При изменении подвижки на тубусе микроскопа возникает дрожание. Данное дрожание ведет к отклонению оси микроскопа от оси линзы.

Данный прибор достаточно устарел и не отвечает большинству требований предъявляемых приборам для центрирования линз и линзовых систем. Было принято решение усовершенствовать конструкцию СТ-41 и с учетом недостатков, на базе этого прибора, разработать новый прибор.

Проанализировав оборудование, которое используется в мире для контроля погрешностей центрирования линз, можно сформулировать основные принципы проектирования прибора:

1. Регистрация автоколлимационного изображения осуществляется с помощью многоэлементных матричных фотоприемных устройств.

2. Обеспечение точности контроля погрешностей центрирования реализуется не только за счет характеристик оптической схемы и входящих в нее узлов, но и за счет применения методов цифровой обработки автоколлимационных изображений.

3. Управление процессом измерения осуществляется с помощью управляющего программного обеспечения.

4. Прибор должен быть многоспектральным.

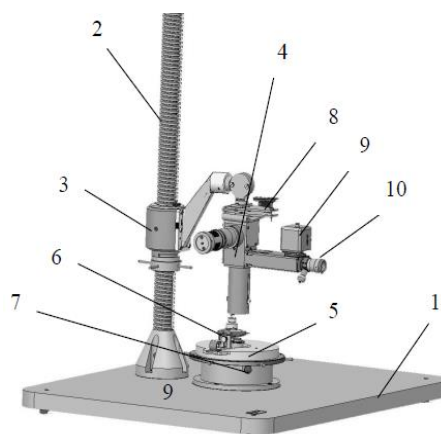
5. Габаритные размеры и масса прибора должны быть минимально возможными.

**Прибор СТ-41-01.** Модифицированному СТ-41 присвоено обозначение СТ-41-01.

В данном приборе имеется ряд усовершенствований. В частности, установлена ПЗС матрица и ламповое освещение заменено на светодиодное.

Общий вид базовой конструкции прибора показан на рис. 1.

На основании прибора 1 крепится стойка 2 для перемещения по ней кронштейна 3 с автоколлимационным микроскопом 4 и предметный столик 5 с опорным кольцом 6 для базирования проверяемой детали. Винтовые опоры 7 основания обеспечивают устойчивое положение прибора и возможность выставки базовой поверхности в горизонтальное положение. Стойка и кронштейн обеспечивают плавное прямолинейное перемещение микроскопа в вертикальной плоскости. На кронштейне предусмотрен узел с микроподвижками 8, позволяющий совместить оптическую ось микроскопа с осью вращения столика с опорным кольцом.



1 – основание; 2 – стойка; 3 – кронштейн; 4 – микроскоп автоколлимационный; 5 – предметный столик; 6 – кольцо опорное; 7 – опоры винтовые; 8 – механизм микроподвижки; 9 – излучатель; 10 – окуляр

Рисунок 1 – Прибор для контроля склейки линз

В качестве источника для подсветки перекрестия в автоколлимационном микроскопе используется излучатель 9. Наблюдение автоколлимационного изображения перекрестия на сетке микроскопа осуществляется как на мониторе телевизионной камеры (VBC-751), так и глазом через окуляр 10.

Основные технические данные прибора приведены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование параметра, единица измерения	Величина параметра
Видимое увеличение микроскопа, крат	118
Фокусное расстояние объектива переменного увеличения, мм	40,6
Видимое увеличение объектива переменного увеличения, крат	0,886
Световой диаметр объектива микроскопа, мм	21,5
Фокусное расстояние окуляра, мм	16,95
Световой диаметр выходного зрачка, мм	0,7
Ширина линий внешнего квадрата сетки окуляра и лимба перекрестия, мм	0,05±0,01
Ширина линий измерительной сетки и шкал, мм	0,02±0,005
Габаритные размеры (дхшхв), мм	800х600х1017

На рис. 2 показано центрирование линзы с помощью усовершенствованного прибора СТ-41-01.

Несмотря на то, что данный прибор имеет усовершенствования, он сохранил ряд недостатков СТ-41.

Направляющие прибора не обеспечивают плавного вертикального перемещения, тубус микроскопа сохраняет дрожание, что ведет к разюстированию прибора.

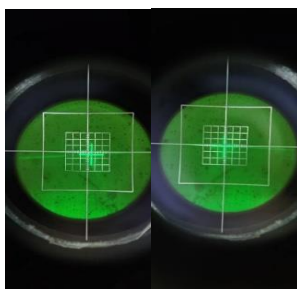


Рисунок 2 – «Биение» перекрестия автоколлиматора

Учитывая недостатки, были сформулированы конструкционные параметры узлов. Требуется выбрать конструкцию, при которой обеспечиваются требования.

#### Литература

1. Соколова, Н. С. О допусках на децентрировку линз / Н. С. Соколова // Оптико-механическая промышленность. – 1973. – № 7. – С. 53–57.
2. Зверев, В. А. Влияние децентрировки поверхностей вращения на положение плоскости изображения / В. А. Зверев, Е. С. Рытова, И. Н. Тимошук // Оптический журнал. – 2010. – Т. 77, № 6. – С. 8–13.
3. Развитие новых направлений в отечественном оптическом и оптикоэлектронном приборостроении / В.А. Балоев [и др.] // Оптический журнал. – 2010. – Т. 77, № 8. – С. 75–80.
4. Способ центровки линз объектива штабелной конструкции и оправы линз для его осуществления : пат. RU 2602419 / Латыев С.М., Буй Динь Бао, Белойван П.А., Табачков А.Г. – Опубл. 10.10.2016.

УДК 681.78

## КОНТРОЛЬ ЛУЧЕВОЙ ПРОЧНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Кунц А.В., Кузнецик В.О.

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Рассмотрена возможность модернизации стенда для проведения проверок лучевой прочности оптических покрытий на длине волны 1,5 мкм путем замены источника излучения и оптической системы стенда.

**Ключевые слова:** лучевая прочность, методы исследования лучевой прочности, стендовые испытания.

## RADIATION STRENGTH CONTROL OF OPTICAL COATINGS

Kuntz A., Kuznechik V.

*Belarusian National Technical University  
Minsk, Belarus*

**Abstract.** The possibility of upgrading the stand for testing the radiation resistance of optical coatings at a wavelength of 1.5 microns by replacing the radiation source and the optical system of the stand is considered.

**Key words:** radiation strength, methods for studying radiation strength, bench tests.

*Адрес для переписки: Кузнецик В.О., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь  
e-mail: kuznechik@bntu.by*

Лучевая прочность одна из основных характеристик оптических покрытий, применяемых как в лазерах, так и в оптико-электронных приборах и системах работающих совместно с лазерами, характеризующая способность материала оптических покрытий выдерживать кратковременное воздействие лазерного излучения и сохранять свои функции и параметры после этого воздействия.

Лучевая прочность зависит от физико-химических свойств материала, состояния поверхности оптических деталей, длины волны, длительности воздействия лазерного излучения,

величины плотности энергии на поверхности детали и других факторов.

Существуют различные методы исследования лучевой прочности, реализуемые с помощью стендов, позволяющие определить порог разрушения оптических материалов при определенных условиях [1].

В состав базовой установки для определения лучевой прочности любого оптического материала входит источник излучения (лазер), средство измерения энергии (мощности) в лазерном пучке и блок формирования эквивалентной площади воздействия на испытуемом образце. Эквива-