

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.

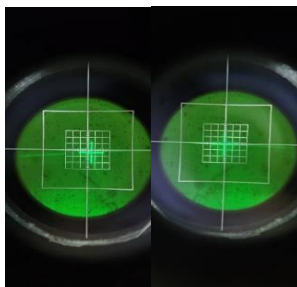


Рисунок 2 – «Биение» перекрестия автоколлиматора

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-

лентная площадь воздействия – это площадь лазерного пятна с равномерным распределением плотности энергии, равным максимальной плотности энергии в реальном пятне и содержащем такую же энергию.

За основу определения лучевой стойкости оптических материалов на модернизируемом стенде принят метод «1 на 1», который позволяет определить зависимость вероятности разрушения образца от плотности энергии падающего излучения.

Проверяемый образец устанавливается в фокусе (или вблизи него) фокусирующей системы. Изменяя энергию импульса излучателя, устанавливают минимальное значение плотности мощности, определенное по формуле:

$$F_{эфф} = \frac{8E_i}{\pi d_{0,86}^2},$$

где  $E_i$  – энергия импульса,  $d_{0,86}$  – диаметр пятна излучения по уровню энергии 0,86, определяемый с помощью камеры.

Производят серию из 10 импульсов с одинаковой энергией излучения и фиксируют количество прогоревших точек. Регистрация разрушения образца осуществляется с помощью микроскопа. Определяют вероятность разрушения покрытия. Изменением энергии импульса излучателя, находят диапазон изменения плотностей энергий, при котором наблюдается нулевая и 100%-ая вероятность разрушения покрытия. По полученным значениям строят график зависимости вероятности разрушения от плотности энергии излучения (рис. 1).

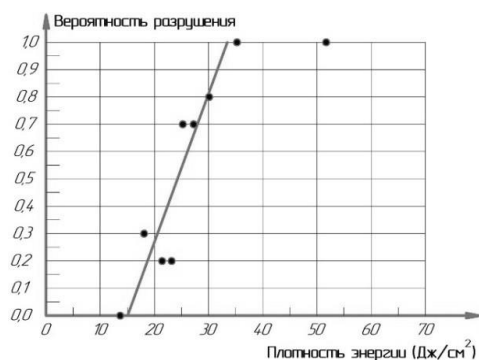


Рисунок 1 – Диаграмма зависимости вероятности разрушения от плотности энергии излучения

Значение порога разрушения  $F_{пор}$  определяется графически, как точка пересечения графика аппроксимирующей функции с осью значений плотности энергии  $F$ . Полученное значение порога разрушения должно быть меньшим (или равным) значению плотности энергии, при котором наблюдалась минимальная вероятность разрушения покрытия.

Полученные точки на графике аппроксимируются линейной зависимостью по формуле

$$y = kx + b.$$

Для обеспечения возможности проведения проверок лучевой прочности оптических диэлектрических покрытий в спектральной области около 1,5 мкм требовалась модернизация стенда.

В состав модернизированного стенда (рис. 2) входят:

- источник лазерного излучения и параметрический генератор света, обеспечивающие требуемую рабочую длину волны лазерного излучения;
- регулируемый аттенуатор, плавно понижающий интенсивность электромагнитных колебаний для обеспечения требуемой плотности энергии на исследуемом образце;
- светораспределительная пластина, перераспределяющая энергию лазерного излучения между контролируемым образцом и системой контроля параметров лазерного пучка, причем основная часть энергии излучения попадает на образец;
- фокусирующая система, обеспечивающая требуемое распределение плотности излучения в пятне заданного диаметра на проверяемом образце;
- оптический клин, который предназначен для направления лазерного излучения на систему диагностики лазерного пучка;
- телескоп, с помощью которого уменьшается расходимость лазерного пучка и обеспечивается требуемый диаметр выходного пучка;
- фокусирующая система, обеспечивающая требуемый диаметр пучка на приемнике ПЗС-камеры;
- ПЗС-камера с помощью которой контролируется диаметр пучка лазера;
- измеритель энергии лазерного излучения.

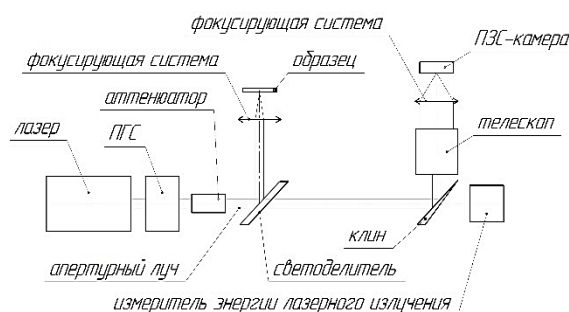
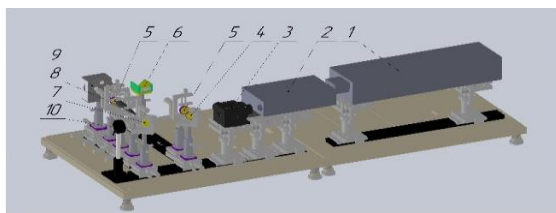


Рисунок 2 – Функциональная схема стенда контроля лучевой прочности

Все элементы стенда, кроме оптических являются покупными (рис. 3).

Расчет оптической системы стенда был выполнен в программах «OPAL» и «Zemax» с последующей оценкой качества всей системы и расчете каждого ее элемента.



- 1 – лазерный источник излучения;  
 2 – параметрический генератор; 3 – аттенюатор;  
 4 – светоделитель; 5 – фокусирующая система;  
 6 – образец; 7 – оптический клин; 8 – телескоп;  
 9 – ПЗС камера; 10 – измеритель энергии

Рисунок 3 – 3D-модель стенда контроля лучевой прочности

Для коллимации лазерного излучения была выбрана система Галилея, выполнен ее габаритный расчет, исходя из параметров источника лазерного излучения, а затем расчет конструктивных параметров оптической системы.

Диаметр фокусирующей системы был выбран исходя из диаметра лазерного пучка, который необходимо получить на исследуемом образце, и

с учетом того, что для уменьшения влияния сферической aberrации на качество изображения пятна диаметр фокусирующей системы должен быть в 2–3 раза больше диаметра пучка лазера.

С учетом требований к лазерной прочности материалов были подобраны покрытия для каждого компонента оптической системы и рассчитаны коэффициенты пропускания для каждой рабочей поверхности оптической системы в программной среде «Zemax», .

Таким образом с целью модернизации стенда была произведена замена источника излучения, изменена оптическая система рабочей и измерительной ветвей стенда, выполнен габаритный, светотехнический и энергетический расчет оптической системы стенда.

#### Литература

1. Лазеры и лазерное оборудование. Методы определения порога лазерного разрушения. Основные положения, термины и определения : ГОСТ Р 58369–2019 (ИСО 21254-1:2011). – Введ. 27.09.2019. – Москва : Стандарт-информ, 2019. – 19 с.

УДК 539.1.06

### ОПТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Малютина-Бронская В.В.<sup>1</sup>, Сорока С.А.<sup>1</sup>, Сенкевич Д.В.<sup>1</sup>, Семченко А.В.<sup>2</sup>,  
 Сидский А.В.<sup>2</sup>, Тарасенко М.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»  
 Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины  
 Гомель, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН  
 Новосибирск, Российская Федерация

**Аннотация.** В данной работе представлены результаты исследований оптических свойств неорганических оптических материалов: боросиликатного стекла и оксоселенида легированных редкоземельными элементами, полученных золь-гель методом, для использования их в качестве сцинтилляторов детекторов ионизирующих излучений.

**Ключевые слова:** ионизирующее излучение, сцинтилляторы, люминесценция, золь-гель процесс

**OPTICAL MATERIALS FOR REGISTRATION OF IONIZING RADIATIONS**  
 Malyutina-Bronskaya V.<sup>1</sup>, Soroka S.<sup>1</sup>, Senkevich D.<sup>1</sup>, Semchenko A.<sup>2</sup>, Sidsky A.<sup>2</sup>, Tarasenko M.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>SSPA of Optics, Optoelectronics and Laser Technology  
 Minsk, Belarus

<sup>2</sup>F.Skorina Gomel State University  
 Gomel, Belarus

<sup>3</sup>Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry SB RAS  
 Novosibirsk, Russia

**Abstract.** The results of studies of the optical properties of inorganic optical materials: borosilicate glass and oxoselenide doped with rare earth elements, obtained by the sol-gel method, for their use as scintillators of ionizing radiation detectors are presented in this work.

**Key words:** ionizing radiation, scintillators, luminescence, sol-gel process

Адрес для переписки: Малютина-Бронская В.В., пр. Независимости, 68-1, г. Минск 220072, Республика Беларусь  
 e-mail: malyutina@oelt.basnet.by

**Введение.** Основное назначение датчиков ионизирующих излучений заключается в обеспечении процесса взаимодействия потока ионизирующего излучения с длиной волны до 380 нм с

физической средой детектора излучения, и в преобразовании актов взаимодействия в электрические сигналы, которые могут быть зарегистрированы соответствующей измерительной