

УДК 629.785:621.373.826

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДОПУСТИМЫХ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ВО ВНУТРЕННЕМ ОБЪЕМЕ ЛАЗЕРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЛАЗЕРНЫХ ПЕРЕДАЮЩИХ БЛОКОВ КОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ**  
**Фёдорцев Р.В.<sup>2</sup>, Орехов К.А.<sup>1</sup>, Орехова В.Е.<sup>1</sup>, Серов М.П.<sup>3</sup>, Позднякова О.М.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ОАО «Пеленг»

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>3</sup>УО «Национальный детский технопарк»

Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные технические аспекты, связанные с обеспечением общего ресурса работы передающих блоков лазерных высотомеров орбитальных космических аппаратов, предназначенных для исследования планет, лун и астероидов. Для обеспечения общего ресурса работы передающего лазерного блока в несколько десятков или сотен миллионов импульсов целесообразно: обеспечить герметичность внутреннего объема излучателя, обеспечить заполнение его объема смесью очищенного кислорода и азота; свести к минимуму количество применяемых полимеров, проводить соответствующую технологическую подготовку оптических и механических деталей с использованием дегазации и последующего контроля наличия органических загрязнений.

**Ключевые слова:** дальномер, лазерный высотомер, передающий модуль, импульсы, ресурс.

**RESEARCH OF MATERIALS ALLOWED FOR USE IN THE INTERNAL VOLUME OF LASER EMMITTERS AND METHODS OF ENSURING THE RELIABILITY OF LASER TRANSMISSION UNITS FOR SPACE APPLICATIONS**

**Feodortsau R.V.<sup>2</sup>, Orekhov K.A.<sup>1</sup>, Orekhova V.E.<sup>1</sup>, Serov M.P.<sup>3</sup>, Pozdnykova O.M.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>JSC "Peleng"

<sup>2</sup>Belarusian National Technical University

<sup>3</sup>EI "National Children's Technopark"

Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** The article discusses the main technical aspects related to ensuring the general operating life of the transmitting units of laser altimeters of orbital spacecraft intended for the study of planets, moons and asteroids. To ensure a total service life of the transmitting laser unit of several tens or hundreds of millions of pulses, it is advisable to: ensure the tightness of the internal volume of the emitter, ensure that its volume is filled with a mixture of purified oxygen and nitrogen; minimize the amount of polymers used, carry out appropriate technological preparation of optical and mechanical parts using outgassing and subsequent monitoring for the presence of organic contaminants.

**Keywords:** rangefinder, laser altimeter, transmitter module, impulses, resource.

*Адрес для переписки:* Фёдорцев Р.В., ул. Макаёнка, 25, г. Минск, 220114, Республика Беларусь  
*e-mail:* feodrw@gmail.com

Как правило лазерные высотомеры используются в составе топографических комплексов для уточнения высотных привязок полученных кадров снимаемой поверхности. Основными узлами лазерных высотомеров являются передающий канал, приемный канал и регистратор лазерного следа (опционально). Передающий блок обеспечивает формирование энергетических и пространственных характеристик зондирующего излучения. Приемный блок обеспечивает регистрацию старт-сигнала и сигнала, отраженного от поверхности исследуемого объекта. Регистратор лазерного следа обеспечивает привязку направления излучения к кадру поверхности.

Для исследования земной поверхности орбита спутника, как правило, составляет около 500 км. Для исследования Луны либо астероидов орбита может колебаться от 100 до 200 км. При этом для получения более точной привязки по дальности стараются минимизировать расходимость излучения лазера до уровня 60–100 мкрад.

Частота работы лазера обусловлена частотой работы съемочной аппаратуры. Длина волны излучения определяется окном прозрачности атмосферы и наличием чувствительных фотоприемников. В нашем случае лазер реализован на кристалле Nd:YAG и имеет длину волны 1064 нм.

Обеспечение надежного и непрерывного функционирования передающих и приемных модулей лазерных дальномеров является одной из важнейших задач, решаемых применением комплекса конструкторских и технологических мероприятий.

Лазерный передающий блок состоит из двух основных узлов: излучателя и формирующего телескопа.

Лазерный излучатель состоит из резонатора, образованного двумя зеркалами, внутрирезонаторной линзы, электрооптического затвора и системы накачки (квантрона). Накачка активного элемента (АЭ) Nd:YAG 5×100 мм осуществляется матрицами лазерных диодов в количестве 21 шт, импульсной мощностью 500 Вт каждая.

Максимальная мощность, выделяемая на квантоне при частоте 2 Гц, составляет не более 1 Вт, что не требует активного охлаждения. Энергия излучения в импульсе составляет 170 мДж.

Исходя из соображений обеспечения механической чистоты внутррезонаторных деталей и оптических компонентов сборка лазерных передающих блоков (ЛПБ) должна осуществляться в чистых помещениях, соответствующих 6 классу ГОСТ ISO 14644-1.

При подготовке оптических компонентов перед сборкой производится контроль их класса чистоты с отбраковкой (ОТК), проверка лучевой стойкости (Lidaris, Литва). Для АЭ проводится анализ генерационных характеристик, профили люминесценции и двулучепреломления. Матрицы лазерных диодов подвергаются электротермотренировке и ресурсным испытаниям.

При функционировании в условиях вакуума конструкция лазерного излучателя должна обеспечивать герметичность, поддерживать давление внутри корпуса на уровне не менее 1,0 атм., так как при пониженном давлении лучевая стойкость оптических компонентов падает [1], а также понижается величина напряжения пробоя для между электродами электрооптического затвора.

Основными конструктивными элементами в общей сборке модуля лазерного излучателя, через которые происходит потеря давления являются:

- место контакта выходного окна и оправы;
- электрические разъемы подключения модулятора добротности;
- канавка с уплотнителем между крышкой и корпусом.

На первом этапе проектирования в качестве используемых закладывались материалы, аттестованные для космического применения. При этом стало очевидным, что данный критерий является недостаточным. Результаты испытаний в барокамере показали падение энергии излучения с исходных 173–180 мДж до уровня ниже 100 мДж в течении 300 тыс. импульсов. Основной причиной снижения выходной энергии излучателя явилось образование налета на рабочих поверхностях оптических деталей внутри резонатора (рисунок 1).

Основным источником загрязнений атмосферы внутри корпуса ЛПБ является герметик на силиконовой основе (Elasil RT772). При застывании в контуре канавки он выделяет летучие вещества, которые проникают во внутренний объем. С целью устранения указанного недостатка были изготовлены 2 ЛПБ без использования герметика. Герметизация в одном из образцов (ТО-1) осуществлялась посредством индийской фольги, по итогам испытаний ресурс работы составил более 4 000 000 импульсов без регистрируемого снижения уровня выходной энергии, однако при высокой утечке воздуха (рисунок 2, а). Герметизация

во втором образце (ТО-2) осуществлялась посредством резины Пентэласт 750, общий ресурс испытаний составил 2 700 000 импульсов (рисунок 2, б).

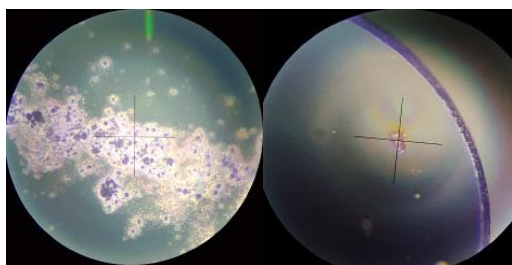


Рисунок 1 – Дефекты на глухом зеркале резонатора

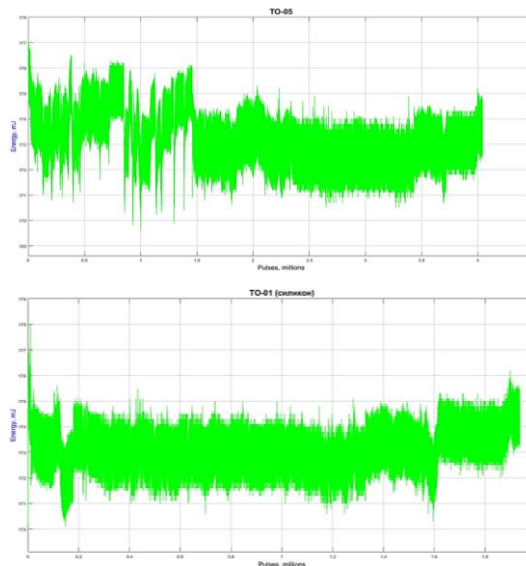


Рисунок 2 – График изменения выходной энергии в течение ресурсных испытаний, герметизация: а – индийская фольга (ТО-1); б – силикон (ТО-2)

Дополнительными источниками загрязнений выявлены термоусадки шин накачки, кольца крепления АЭ, шины подачи питания (остаточный флюс), клеевые соединения оптики и оправ, а также материалы, попадающие снаружи (следы материала перчаток, осыпка фильтров ламинарной камеры). Была разработана методика проверки материалов допустимых к использованию в ЛПБ. В герметичную колбу (рисунок 3) помещается исследуемый материал, через нее проводится пучок с плотностью энергии в 1,2–1,5 раза превышающей плотность в резонаторе ЛПБ. Если на окнах колбы появляется налет после 500 тыс. импульсов, то материал отбраковывается, либо увеличивается время его дегазации и эксперимент проводится повторно.

На основании проведенных испытаний и с целью предотвращения образования налета в конструкцию ЛПБ были внесены следующие изменения:

- значительно уменьшилась масса применяемых клеев, поскольку полимерные материалы выделяют большое количество летучих газов и частиц вещества;

- произведена замена материалов колец, обжимающих АЭ с метилвинилового силикона VMQ на кольца из резины FFKM;
- герметик Elasil RT772 был заменен на Dow Corning 93-500 и Пентглас 750;
- для всех материалов длительность дегазации увеличилась с 8 ч до 24 ч;

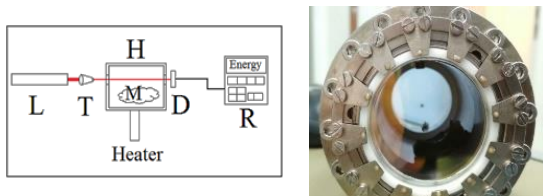


Рисунок 3 – Схема исследования материалов

– внутренний объем лазерного излучателя целесообразно заполнять смесью из очищенных кислорода и азота.

Установлено также что материалы на основе фторопластов после проведения дегазации хорошо подходят для применений в лазерном резонаторе. Разработанная методика отбора материалов оказалась наиболее эффективной для достижения ресурса в десятки миллионов импульсов.

Текущий подтвержденный ресурс ЛПБ 84 млн импульсов.

#### Литература

1. Wernham, D. Optical Coatings in Space / D. Wernham // Advances in Optical Thin Films IV, Proc. of SPIE. – 2011. – Vol. 81680F.

УДК 621.375.826

### УСЛОВИЯ И РЕЖИМЫ ВЫРАЩИВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ МАГНИЙ-АЛЮМИНИЕВОЙ ШПИНЕЛИ, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ $Co^{2+}$ С РАЗЛИЧНОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ, И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ИМПУЛЬСНЫХ ЛАЗЕРАХ С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

Кисель В.Э., Горбаченя К.Н., Гоман В.И.

*НИЦ Оптических материалов и технологий БНТУ  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Исследованы условия и режимы роста кристаллов  $Co^{2+}:MgAl_2O_4$  с различной концентрацией двухвалентных ионов кобальта. Измерены спектры поглощения выращенных образцов, проведены лазерные эксперименты по исследованию их генерационных характеристик в лазере на основе Er:стекло с диодной накачкой.

**Ключевые слова:** рост кристаллов, спектры поглощения, кристалл, пассивная модуляция добротности, двухвалентные ионы кобальта.

### MAGNESIUM-ALUMINUM SPINEL CRYSTALS ACTIVATED WITH $Co^{2+}$ IONS WITH DIFFERENT CONCENTRATIONS: GROWS AND APPLICATION IN DIODE-PUMPED PULSED LASERS

Kisel V.E., Gorbachenya K.N., Goman V.I.

*Center for Optical Materials and Technologies BNTU  
Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** Growth process of  $Co^{2+}: MgAl_2O_4$  crystals was investigated for different concentration of divalent cobalt ions. Absorption spectra of different samples were measured and their laser properties in Er:glass laser under diode-pumping were investigated.

**Key words:** crystal grows, absorption spectra, crystal, passive Q-switching, divalent cobalt ions.

Адрес для переписки: Кисель В.Э., пр. Независимости, 65, г. Минск, 220113, Республика Беларусь  
e-mail: vekisel@bntu.by

Лазерное излучение с длиной волны 1,5–1,6 мкм имеет ряд достоинств, интересных для широкого практического применения в лазерной дальнометрии, медицине, системах оптической локации и лазерно-искровой эмиссионной спектрометрии благодаря целому ряду причин. Основным преимуществом указанного излучения является условная безопасность для органов зрения людей вследствие того, что малая часть излучения попадает на сетчатку, поглощаясь до нее роговицей и хрусталиком. Кроме того, из-за высо-

кого поглощения излучения водой при микрохирургических вмешательствах на поверхности прозрачных тканей глаза излучением данной длины волны уменьшаются глубина термического некроза и порог абляции. К тому же, благодаря прозрачности атмосферы, а также высокому пропусканию излучения с длиной волны 1,5–1,6 мкм в условиях тумана, дыма и пара, лазерные источники указанного диапазона используются в системах оптической локации и дистанционного зондирования Земли.