

УДК 621.373.826

## ХАРАКТЕРИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО Nd:YAG ЛАЗЕРА В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Орехова В.Е.<sup>1</sup>, Кисель В.Э.<sup>2</sup>, Орехов К.А.<sup>1</sup><sup>1</sup>ОАО «Пеленг»<sup>2</sup>Научно-исследовательский центр оптических материалов и технологий БНТУ  
Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Исследованы выходные характеристики прототипа импульсного лазера на кристалле иттрий-алюминиевого граната с ионами Nd<sup>3+</sup> (Nd:YAG) с диодной накачкой, излучающего на длине волны 1064 нм, для применения в составе дальномеров авиационного базирования. Представлены результаты измерений энергии импульсов лазера для частот следования 1; 4; 12,5; 22 Гц в течение цикла длительностью 2 мин в диапазоне температур окружающей среды от –40 до +60 °С. Для исследованных частот следования импульсов и температур окружающей среды значения энергии лазерных импульсов составляют не менее 80 мДж при величине энергии импульса накачки не более 0,51 Дж, расходимость лазерного излучения не превышает 1,9 мрад.

**Ключевые слова:** диодная накачка, Nd:YAG кристалл, расходимость.

## CHARACTERISTICS OF A PULSED Nd:YAG LASER EMISSION OVER WIDE AMBIENT TEMPERATURE RANGE

Orekhova V.<sup>1</sup>, Kisel V.<sup>2</sup>, Orekhov K.<sup>1</sup><sup>1</sup>JSC "Peleng"<sup>2</sup>Optical Materials and Technology Research Center of BNTU  
Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** The output characteristics of a diode-pumped pulsed laser prototype based on Neodymium-doped Yttrium Aluminum Garnet (Nd:YAG) crystal emitting at a wavelength of 1064 nm are examined for use as part of airborne rangefinder. Results of laser pulse energy measurements are presented within 2 min cycle for pulse repetition rates 1, 4, 12.5, 22 Hz at ambient temperature range from –40 to +60 °C. For the studied pulse repetition rates and ambient temperatures the pulse energy values are not less than 80 mJ for pump pulse energy less than 0.51 J, laser beam divergence does not exceed 1.9 mrad.

**Key words:** diode pumping, Nd:YAG crystal, divergence.

Адрес для переписки: Орехова В.Е., ул. Макаёнка, 25, г. Минск, 220114, Республика Беларусь  
e-mail: ve.orehova@gmail.com

Импульсные лазеры на основе кристалла Nd:YAG с изменяемой частотой следования импульсов от 1 до 20–30 Гц имеют широкое использование в качестве передающей части лазерного дальномера на борту вертолетов или беспилотных летательных аппаратов [2–4; 8; 9]. Разработка лазера требует сохранения выходных параметров прибора в течение цикла из серии импульсов при различных частотах следования, а также в широком диапазоне температур окружающей среды и при воздействии вибраций.

Целью исследования являлась экспериментальная проверка энергетических характеристик разработанной схемы лазерного резонатора и квантрона с диодной накачкой кристалла Nd:YAG для лазера, работающего в режиме модуляции добротности в широком диапазоне температур окружающей среды при минимальном значении энергии лазерного импульса 80 мДж на длине волны 1064 нм и расходимостью не более 2 мрад.

Исследована оптическая схема резонатора на основе линейной П-образной конфигурации с трипель-призмой и квантроном на основе цилиндрического кристалла диаметром 4 мм с поперечной диодной накачкой. Выбранная оптическая схема приведена на рисунке 1.

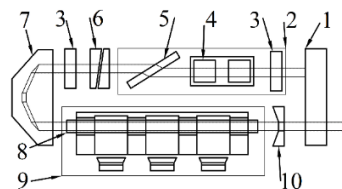


Рисунок 1 – Оптическая схема лазера излучателя:  
1 – глухое и выходное зеркала на одной подложке;  
2 – электрооптический затвор; 3 – четвертьволновая пластинка; 4 – ячейка Поккельса; 5 – поляризатор;  
6 – юстировочные клинья; 7 – трипель-призма;  
8 – активный элемент; 9 – квантрон; 10 – защитная диафрагма активного элемента

Резонатор на границе устойчивости длинной 450 мм образован двумя плоскими глухим и выходным с коэффициентом отражения  $R = 25\%$  зеркалами, выполненными на одной подложке, и трипель-призмой. Работу в режиме активной модуляции добротности обеспечивает электро-оптический затвор, состоящий из поляризатора, ячейки Поккельса на основе кристаллов РКТР и четвертьволновой фазовой пластинки. Для компенсации набега фаз, возникающего в поляризованном излучении в резонаторе в результате прохождения через трипель-призму, в резонатор

дополнительно установлена четвертьволновая пластина. Юстировка резонатора производится поворотами вокруг оптической оси пары равных по величине оптических клиньев. Резонатор излучателя помещен в герметичный корпус, излучение выводится через защитное стекло.

Квантрон с поперечной диодной накачкой состоит из механически развязанных узла матриц лазерных диодов и узла медного отражателя с активным элементом. Узел матриц накачки представляет тонкую медную пластину с закрепленными на ней датчиком температуры и тремя матрицами лазерных диодов суммарной максимальной оптической мощностью 2400 Вт на длине волны около 808 нм. С внешней стороны на теплостоке матриц установлен элемент Пельтье. Использование элемента Пельтье при работе лазера позволяет стабилизировать температуру теплостока лазерных диодных матриц и обеспечить стабильность спектрального состава излучения накачки. Активный элемент квантрона на основе кристалла Nd:YAG с концентрацией ионов  $Nd^{3+}$  0,9 ат.%, диаметром 4 мм и длиной 70 мм имеет полностью кондуктивное охлаждение через боковую поверхность. Контакт поверхности активного элемента и поверхностей деталей узла отражателя обеспечивается через слой кремнийорганического теплопроводящего материала. Детали узла отражателя выполнены таким образом, что отведение тепла с боковой поверхности кристалла происходит через 4 цилиндрические области длиной не менее 5 мм, расположенные между тремя областями боковой поверхности кристалла, напротив которых расположены матрицы накачки, а также возле торцов кристалла.

Конфигурация резонатора и конструкция квантрона были выбраны с целью реализовать компактный лазер с высоким оптическим КПД без применения дорогостоящих технологий для серийного производства.

В таблице 1 приведены усредненные значения энергии и максимальные полученные значения энергетической расходимости по уровню  $1/e^2$  для энергии импульса накачки 0,49 Дж в течение цикла следования импульсов длительностью 2 мин при температуре +25 °С.

Таблица 1. Выходные характеристики лазера при температуре +25 °С

Частота следования лазерных импульсов	1	4	12,5	22
Средняя энергия, мДж	81,2	84,0	85,6	82,3
Стандартное отклонение энергии, мДж	1,3	0,5	1,5	2,1
Максимальная расходимость, мрад	1,2	1,2	1,5	1,8

Проведены измерения энергии и расходимости лазерных импульсов при помещении в термокамеру. Исследования проводились при температуре окружающей среды от -40 до +60 °С при стабилизации температуры теплостока матриц лазерных диодов при  $35 \pm 0,5$  °С, соответствующей оптимальной центральной длине волны спектра излучения накачки.

Расходимость во всем температурном диапазоне не превышает 1,9 мрад. Усредненные значения энергии лазерных импульсов в течение цикла длительностью 2 мин приведены на рисунке 2.

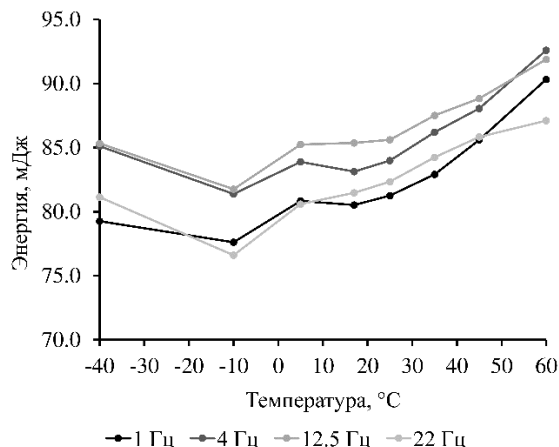


Рисунок 2 – График зависимости среднего значения энергии лазерных импульсов от температуры окружающей среды для частот следования импульсов 1, 4, 12,5, 22 Гц для циклов длительностью 2 мин

Для температур -10, -40 °С энергия лазерных импульсов понижена из-за температурного сдвига длины волны источника накачки в результате охлаждения его теплостока. Энергия импульса может быть повышена до 80 мДж при увеличении энергии импульса накачки до 0,51 мДж. Тогда для всех исследованных частот следования лазерных импульсов энергия лазерного импульса достигает значения 80 мДж менее чем через 2 с после начала работы лазера.

#### Литература

- Richardson, M. Laser systems overview: General / M. Richardson // Airborne Laser Systems Testing and Analysis / Dr. Mark A. Richardson. – Swindon, 2010. – Ch. 2.1.
- Laser Range Sensors / K.C. Bahuguna [et al.] // Defence Science Journal. – 2007. – Vol. 57, № 3. – P. 881–890.
- Military reconnaissance platform for the spectral range from the visible to the MWIR / M. Gerken [et al.] // Infrared Technology and Applications XLIII: Proc. of SPIE Vol. 10177, Infrared Technology and Applications XLIII, Anaheim, 9–13 may 2019.