

– Гальваническую развязку цепей питания контроллеров БЭ СОВА и приводов от бортового питания от 23 до 29 В.

СОВА-2-426 с установленной съемочной аппаратурой – фотоаппаратом *Nikon* (а), НА ВСС (б) и объективом *Nikon AF-S* (в) изображена на рисунке 3.

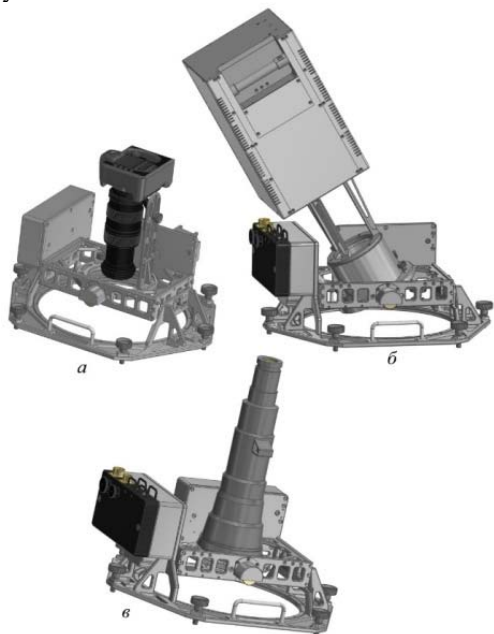


Рисунок 3 – СОВА-2-426 со съемочной НА:
а – с фотоаппаратом *Nikon*; б – с НА ВСС;
в – с объективом *Nikon AF-S*

УК предназначен для управления работой СОВА-2-426 с помощью СПО и обеспечивает выход из спящего режима фотоаппаратуры, установленной на ПН-2-426, подачей команды на контроллер управления ПН-2-426 по интерфейсу *USB 2.0* по заданному временному алгоритму с точностью не ниже 1 с и обработку приводами углов наведения по командам оператора или по заранее установленной программе наведения. В качестве УК используются бортовые лэптопы, входящие в информационно-управляющую систему (ИУС) СМ, с предустановленным СПО ПН СОВА.

СПО предназначено для управления и контроля СОВА-2-426. Выполняет расчет времени пролета над объектом исследования (с учетом допустимых углов съемки) и параметров наведения на объект в реальном времени; учитывает нахождение станции над дневной/ночной стороной; обеспечивает одновременную работу с несколькими объектами, ручной ввод географических координат объекта, автоматическое включение и наведение НА, сохранение/загрузку объектов на жесткий диск.

Литература

1. *Беляев Б.И.* Система автоматической ориентации научной аппаратуры в эксперименте «Ураган» на Международной космической станции / *Беляев М.Ю., Боровихин П.А., Голубев Ю.В., Ломако А.А., Рязанцев В.В., Сармин Э.Э., Сосенко В.А.* // *Космическая техника и технологии.* – 2018. – № 4(23). – С. 70–80.

УДК 621.373.826

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛА Nd:YAG Ватутина В.Е.¹, Кисель В.Э.², Орехов К.А.¹

¹ОАО «Пеленг»

Минск, Республика Беларусь

²НИЦ Оптических материалов и технологий БНТУ

Минск, Республика Беларусь

На сегодняшний день широко распространено применение твердотельных лазеров в системах измерения дальности. В случае применения излучателя в составе дальномера на борту средних и крупных беспилотных летающих аппаратов, помимо габаритов и выходных пространственных и энергетических параметров, одной из основных характеристик является его способность функционировать в условиях постоянного воздействия вибраций и в широком диапазоне изменяющихся температур.

В статье рассмотрено моделирование лазерного излучателя на основе кристалла Nd:YAG для систем измерения дальности с длиной волны излучения 1 064 нм, энергией выходного излучения не менее 100 мДж и расходимостью не более 1,5 миллирадиан, работающего в режиме моду-

ляции добротности в температурном диапазоне – 40 °С–+50 °С с частотой 5 Гц с минимальными габаритами. Были описаны расчеты выходной энергии лазерного излучателя, профиля поглощения излучения, а также была проведена оценка поляризационных потерь в резонаторе и расходимости излучения.

Для снижения негативного воздействия окружающей среды приводящего к смещению взаимного положения лазерных оптических компонентов возможно применение ряда конфигураций резонатора, например на основе призм Порро, [1], а также резонаторов неустойчивой области с GRM-зеркалами [2].

В статье рассмотрен резонатор, аналогичный представленному в [3], эквивалентный плоскому, состоящий из полупрозрачного выходного и глу-

ного зеркал на общей подложке и трипель-призмы, представленный на рисунке 1.

В верхнем плече резонатора расположен электрооптический затвор, работающий в четвертьволновой схеме, в нижнем плече расположен квантрон и пластина $\lambda/4$, компенсирующая фазовые искажения лазерного пучка из-за проходов через трипель-призму. В выбранной схеме резонатора используется минимальное количество оптических компонентов, и с целью снижения рисков отказа излучателя во время работы лазерное излучение не падет на ребра трипель-призмы.

Несмотря на то, что компенсирующая фазовая пластина позволяет избежать поляризационных потерь в случае идеальной юстировки, выбранный резонатор будет иметь некоторые поляризационные потери в результате механической разъюстировки и изменений температуры среды. Существует несколько основных факторов, приводящих к вредным поляризационным потерям на поверхности поляризатора с стороны призмы:

1. Погрешность юстировки поляризатора, компенсирующей пластины $\lambda/4$, трипель-призмы вокруг оси резонатора

2. Изменение набег фаз пластины $\lambda/4$ в результате изменения температур

Было принято, что влияние изменений коэффициента отражения s-поляризации от поляризатора, юстировки оптических компонентов под углом к оси резонатора ($0,5^\circ$), а также свойств кристалла Nd:YAG и показателя преломления материала призмы в результате изменений температур ($\Delta n = 0,001$) пренебрежимо мало и может не учитываться в расчетах.

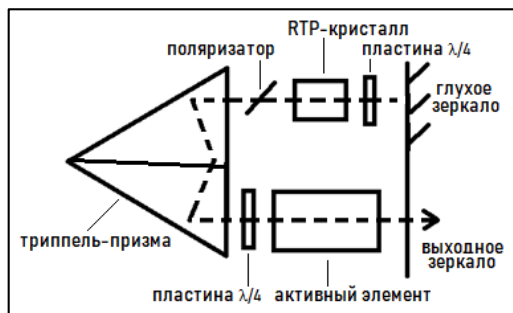


Рисунок 1 – Принципиальная схема резонатора лазерного излучателя

Оценка максимальной величины поляризационных потерь проводилась матричным методом Джонса для типичных значений величин разъюстировки оптических элементов вокруг своей оси, равных $0,5^\circ$, а также типичных значений температурного коэффициента пластин $\lambda/4$ нулевого порядка $\Delta n/\Delta T = 1 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Для диапазона температур $-40 \text{ } ^\circ\text{C} \text{--} +50 \text{ } ^\circ\text{C}$ поляризационные потери с использованием компенсирующей фазовой пластины с учетом указанных разъюстировок составляют до 9 % в зависимости от взаимной

ориентации углов поворота трипель-призмы и поляризатора вокруг оси резонатора.

Если поляризатор расположен таким образом, что р-поляризация перпендикулярна плоскости резонатора, то для луча, падающего после поляризатора на призму с направлением отражений в ней по часовой стрелке при наблюдении с ее вершины, потери из-за изменений температуры минимальны и составляют не более 2,3 %, если острый угол α , отсчитываемый против часовой стрелки от прямой р-поляризации к прямой проекции ребра между первой и последней боковыми гранями призмы, на которых происходит отражение пучка, на плоскость основания, составляет $-30^\circ \text{--} 0^\circ$ или $90^\circ \text{--} 60^\circ$ (рисунок 2).

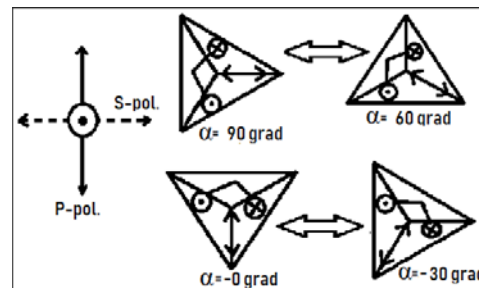


Рисунок 2 – Положения призмы, в диапазоне между которыми потери из-за изменения температуры минимальны (вид с вершины)

Диаметр лазерного пучка d , равный не менее 4.3 мм, определяется из формулы 1:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot E}{\pi \cdot W} \frac{1+R}{1-R} K_{nu} K_r}, \quad (1)$$

где W – лучевая стойкость оптических покрытий, типичное значение которой около 4 Дж/см^2 , $E = 100 \text{ мДж}$ – значение выходной энергии импульса лазерного излучения, S – площадь сечения лазерного пучка, $R = 0,2$ – коэффициент отражения выходного зеркала, $K_{nu} = 2$ – коэффициент для учета неравномерности профиля сечения пучка лазерного излучения, а также временного профиля лазерного импульса, $K_r = 2$ – коэффициент запаса лучевой плотности для изделия авиационного применения. Таким образом для цилиндрического активного элемента размер сечения равен 5 мм, при использовании защитной диафрагмы диаметр лазерного пучка равен 4,6 мм.

Мощность и длительность излучения накачки, а также оптимальный коэффициент отражения глухого зеркала и выходные энергетические параметры рассчитывались согласно [4]. Значения параметров, использованных при расчете, представлены в таблице 1. Расчетная мощность поглощенного излучения накачки длительностью 230 мкс составляет около 2 600 Вт для выходной энергии 100 мДж, расчетная длительность импульса равна 6 нс.

Таблица 1 – Значения входных параметров для расчёта энергетических характеристик лазерного излучения

Параметр	Значение
Длина волны излучения накачки	804–810 нм
Сечение вынужденного излучения Nd:YAG	$2,8 \cdot 10^{-23} \text{ м}^2$
Время жизни верхнего лазерного уровня	230 мкс
Квантовая эффективность перехода 0-2	0–87
Концентрация ионов Nd, м^{-3}	$0,9 \cdot 1,38 \cdot 10^{26}$
Показатель преломления Nd:YAG	1–816
Длина накачиваемой области активного элемента	80 мм
Длина резонатора	300 мм
Вредные потери в резонаторе за один обход	0,1

Квантрон является системой с поперечной диодной накачкой термостабилизированными матрицами лазерных диодов цилиндрического Nd:YAG активного элемента и диффузным отражателем эллиптической формы (рисунок 3).

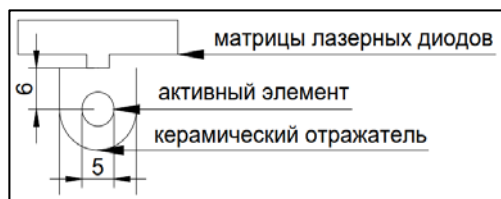


Рисунок 3 – Поперечное сечение системы накачки

КПД передачи излучения накачки равен от 48 до 51 % согласно расчётам, проведенным с использованием ПО Zemax. Следовательно, сум-

марная мощность излучения должна составлять не менее 5 200 Вт. Система накачки, представленная на рисунке 3, может быть реализована семью матрицами лазерных диодов номинальной мощностью 800 Вт. Из-за наличия термолинзы в активном элементе резонатор является устойчивым. Расходимость излучения определяется модовым составом резонатора, ограниченного защитной диафрагмой активного элемента. Величина усредненной термолинзы оценивалась согласно п. 7.1 [4] и равна около 54 м. Величина расходимости лазерного излучения оценивалась методом матричной оптики согласно п. 2.5, 5.2 [5]. Радиус нулевой поперечной моды составляет около 1,04 мм, максимальный порядок поперечных мод не более 4 для случая Эрмитт-Гауссова пучка, расчетная расходимость лазерного излучения равна не менее 1,3 мрад.

Проведенные расчеты показывают один из способов реализации компактного лазерного излучателя с габаритом не более $200 \times 100 \times 50$ мм для применения в системах измерения дальности при воздействии перепада температур и вибраций.

Литература

1. Athermal, Lightweight, Diode-Pumped, 1 micron Transmitter / J.C. McCarthy [et al.] // Proc. of SPIE. – 2016. – Vol. 5707. 0277-786X.
2. Space-qualified laser system for the BepiColombo Laser Altimeter / R. Kallenbach [et al.] // Applied Optics. – 2013. – Vol. 42, № 36. – P. 8732–8746.
3. A compact laser target designator / S.T. Lee [et al.] // Proc. of SPIE. – 2016. – Vol. 9834. 98340Q-1.
4. Solid-State Laser Engineering, 6th ed. / W. Koechner, Round Hill, USA: Springer, 2006. – 765 p.
5. Optical Resonators: fundamentals, advanced concepts and applications / N. Hodgson, H. Weber, London : Springer-Verlag London Ltd, 1997. – 666 p.

УДК 539.26, 538.958, 621.373.8

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА СИТАЛЛОВ ЦИНК-ГАЛЛИЙ-АЛЮМОСИЛИКАТНОГО СОСТАВА

Глазунов И.В.¹, Маляревич А.М.¹, Юмашев К.В.¹, Дымшиц О.С.²

¹НИЦ Оптических материалов и технологий БНТУ

Минск, Республика Беларусь

²НИТИОМ ВНИЦ «ГОИ имени С.И. Вавилова»

Санкт-Петербург, Российская Федерация

Источники импульсного лазерного излучения для спектральной области $\sim 1,5$ мкм находят широкое применение в системах локации и зондирования атмосферы. Трехвалентные ионы эрбия (Er^{3+}) обеспечивают лазерную генерацию на переходе ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ в этой условно безопасной для глаз области спектра [1]. Для генерации импульсного излучения наносекундной длительности в лазерный резонатор обычно помещается нелинейный элемент – пассивный затвор на основе насыщающегося поглотителя.

Это позволяет создать полностью твердотельную лазерную систему.

Двухвалентные ионы кобальта (Co^{2+}), расположенные в кристаллах в позициях с тетраэдрической симметрией локального окружения, характеризуются широкополосным поглощением в области длин волн 1,3–1,5 мкм [2]. Данная полоса связана с переходом ${}^4A_2({}^4F) \rightarrow {}^4T_1({}^4F)$ [3]. Тетраэдрическая координация ионов Co^{2+} обеспечивает высокие поперечные сечения поглощения из основного состояния и, следова-