
 Рисунок 3 – Спектр поглощения керамики $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$

Исследована зависимость пропускания ситаллов от интенсивности падающего лазерного излучения (рисунок 4). Образцы облучались лазерными импульсами с энергией 1,3 мДж, длительностью 85 нс на длине волны 1540 нм. Диаметр сфокусированного пятна на образце составлял 70 мкм. Для обработки экспериментальных данных, которые показывают, что ситалл с нанокристаллами $\text{Co}^{2+}:\text{Ga}_2\text{O}_3$, хорошо просветляется, использовалась модель медленно релаксирующего насыщающегося поглотителя [5]:

$$\frac{dE_0}{dz} = -I_{sa} \cdot \frac{\ln(1/T_0)}{L} \cdot \left[(1-\gamma) \cdot \left(1 - e^{-\frac{E_0}{I_{sa}}}\right) + \gamma \cdot \frac{E_0}{I_{sa}} \right],$$

где $I_{sa} = h\nu / \sigma_a$ – интенсивность насыщения поглощения; $\gamma = \sigma_{esa} / \sigma_a$ – контраст просветления; σ_a и σ_{esa} – поперечные сечения поглощения из основного и возбужденного состояний, соответственно. По результатам моделирования определены контраст просветления $\gamma = 0,12$, поперечные сечения поглощения из основного $\sigma_a = 2,9 \cdot 10^{-19} \text{ см}^2$ и возбужденного $\sigma_{esa} = 0,35 \cdot 10^{-19} \text{ см}^2$ состояний.

УДК 536.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРА НАБЛЮДЕНИЯ

Маханько Д.С., Луговик А.Ю., Шкадаревич А.П.

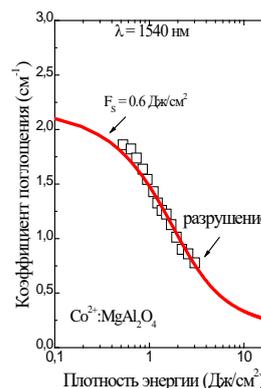
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Оптико-электронный прибор – сложная система, составными частями которой являются оптические и механические устройства, лазеры, приемники излучения, электронные блоки, устройства волоконной и интегральной оптики и т. д. Классификация оптико-электронных приборов представлена на рисунке 1. Требования к ОЭП определяются, исходя из необходимости решения задач военного характера, а также ряда проблем народнохозяйственного значения (космическая съемка, исследование природных

ресурсов), которые не решаются визуальными оптическими и радиоэлектронными приборами.

Тепловой режим оптико-электронного прибора (ОЭП) оказывает влияние как на качество и надежность работы отдельных его узлов, так и на работу прибора в целом. Нарушение теплового режима приводит к искажению полезного сигнала, к появлению шумов в приборе, что в свою очередь влияет на качество работы прибора.

В процессе работы прибор подвергается различным тепловым воздействиям. В результате в оптической системе возникает в общем случае


 Рисунок 4 – Зависимость коэффициента поглощения от плотности энергии для керамики $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$

Таким образом, в работе синтезированы новые лазерные материалы – прозрачной поликристаллической керамики $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$. Исследованы структурные, спектрально-люминесцентные и нелинейно-оптические свойства.

Показано, что прозрачная поликристаллическая керамика $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$ являются перспективной средой для пассивной модуляции добротности лазеров спектрального диапазона 1,3–1,7 мкм.

1. F. J. McClung and R. W. Hellwarth, "Giant Optical Pulsations from Ruby" // *J. Appl. Phys.*, 33 [3] 828-9 (1962).
2. J. Hecht, *Understanding Lasers*. J. Wiley Interscience, N.Y., 2001.
3. R. J. Bratton, "Cociprecipitates Yielding MgAl_2O_4 Spinel Powders" // *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 48 [8] 759-62 (1969).
4. J. Rufner, D. Anderson, K. van Benthem and R. H. R. Castro, "Synthesis and Sintering Behavior of Ultrafine (<10 nm) Magnesium Aluminate Spinel Nanoparticles" // *J. Am. Ceram. Soc.*, 96 [7] 2077-85 (2013).
5. Denisov I.A., Demchuk M.L., Kuleshov N.V., Yumashev K.V. $\text{Co}^{2+}:\text{LiGa}_5\text{O}_8$ saturable absorber passive Q-switch for 1.34 μm $\text{Nd}^{3+}:\text{YAlO}_3$ and 1.54 μm $\text{Er}^{3+}:\text{glass}$ lasers // *Appl. Phys. Lett.*, 77, 2455-2457 (2000).

сложное температурное поле, изменяющееся в пространстве и во времени и отклоняющееся от номинального значения температуры. Кроме того, наряду с температурой может изменяться и давление воздуха (например, при аэросъемке). Все это приводит к ряду изменений в оптической системе.

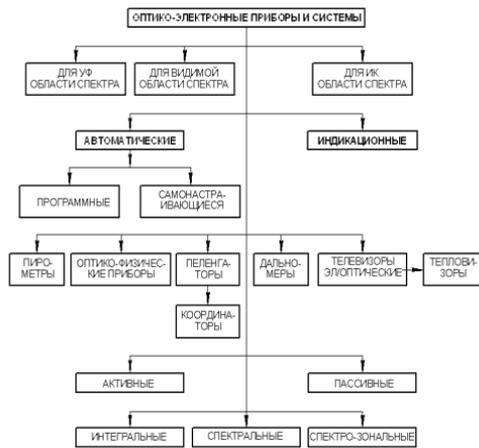


Рисунок 1 – Классификация оптико-электронных приборов и систем

Из-за теплового расширения материалов при наличии равномерных в пространстве температурных полей изменяются размеры системы: радиусы кривизны и толщины линз и зеркал, расстояния между элементами и т. д., а при неравномерных температурных полях меняются и формы элементов. Например, плоскопараллельная пластинка может превратиться в линзу, если температура ее внутренней зоны отличается от температуры периферии.

Из-за температурной зависимости показателя преломления в прозрачных элементах возникают равномерные или неравномерные отклонения показателей преломления от номинальных значений. Кроме того, при неравномерном температурном поле в элементе появляются термонапряжения, которые из-за фотоупругого эффекта также вносят вклад в изменение показателя преломления. Вследствие зависимости температурного коэффициента показателя преломления от длины волны изменяются величины, характеризующие хроматические свойства материалов (например, коэффициент дисперсии Аббе).

Изменение температуры и давления воздуха в оптической системе приводит к изменению его показателя преломления и соответственно к пропорциональному изменению показателей преломления всех материалов.

Перечисленные выше возмущения в оптической системе вызывают появление дополнительных термических аберраций: тепловой расфокусировки, термической сферической аберрации, термической комы и т. д. – и в конечном итоге ухудшение качества изображения.

Тесная связь между тепловым режимом ОЭП и его функциональными характеристиками приводит к тому, что специальный выбор принципиальной схемы, вида и параметров конструкции ОЭП является одним из важнейших путей обеспечения его термостабильности. Таким образом, «тепловое» проектирование ОЭП неправомерно отделять от его «функционального» проектирования. В связи с этим иногда оказывается совершенно неэффективным подход, при котором для уже разработанного прибора определяют требования к его тепловому режиму, а затем пытаются добиться их выполнения с помощью той или иной системы обеспечения нормального теплового режима.

Несомненно, для большинства ОЭП характерны высокие требования к точности и надежности работы. Поэтому обеспечение нормального режима является одной из главных задач при проектировании ОЭП.

Обеспечение нормального теплового режима основывается на расчете температурных полей ОЭП с различной степенью детализации и последующем анализе влияния теплового режима на качество работы прибора.

Таким образом актуальной является разработка методики, позволяющей провести расчет температурных полей оптико-электронного прибора с учетом всех основных воздействующих на него факторов, с требуемой точностью и степенью детализации и проанализировать влияние теплового режима на работу прибора в соответствии с его назначением [1].

Как правило, результатом теплового расчета является интервал изменения температуры и градиентов температуры в элементах прибора. Ширина указанных интервалов определяется погрешностью методики расчета температурных полей и неопределенностью входной информации.

Анализ работы ОЭП различного назначения (обнаружения, измерения, слежения и получения изображения) начинается с расчетов средних температур и температурных полей элементов оптической системы, далее проводится анализ термодформаций и термонапряжений (приближенно, аналитически или численно), определяются расстояния между оптическими элементами и коэффициенты преломления. Полученные данные используются для расчета функции рассеяния и ОПФ. Такие расчеты, как правило, выполняются численно на ЭВМ, и лишь в простейших случаях могут быть использованы аналитические формулы. Результаты расчета температуры приемника позволяют определить его чувствительность и постоянную времени и рассчитать передаточную функцию. Используя средние температуры элементов ОЭП, вычисляются шумы (тепловые, фотонные, температурные) в приемнике излучения, усилителе и преобразователе. Для приборов, работающих в

длинноволновой области спектра, рассчитывается собственное излучение оптических элементов. Используя полученную информацию, вычисляются передаточная функция всего прибора, спектры полезного сигнала, собственного излучения и шумов на выходе. И, в зависимости от назначения прибора, определяются параметры, характеризующие его работу (функция качества или оценочная функция), т.е. вероятность обнаружения, погрешность измерения, слежения, качество изображения.

В настоящее время в сфере систем автоматического проектирования произошли ощутимые изменения, внедрение систем анализа является логическим развитием процесса автоматизации проектирования.

Компьютерное моделирование является необходимым инструментом создания современных технических объектов. Всё более широкий круг предметов и явлений становится объектом компьютерной симуляции. Она внедрилась практически во все сферы инженерной деятельности.

Потребности современного производства требуют от инженера-практика нового уровня теоретической и практической подготовки – выполнения компьютерного анализа и проектирования. Наиболее логичный путь для квалифицированного инженера – освоение доступных интегрированных приложений, сопровождаемое овладением соответствующей теоретической базой.

Такие программные продукты как Flow Simulation, EFD.Lab, EFD.V5 и EFD.Pro сделали прикладные расчеты в области теплопередачи достоянием широкого круга инженеров [2].

Оптимальный, а во многих случаях и единственный, путь создания конкурентоспособной продукции – это сочетание расчетных исследований, которые достаточно адекватно моделируют физические явления, определяющие интересующие покупателя характеристики изделия, с экспериментальными исследованиями, необходимыми для проверки этой адекватности.

Естественно, расчеты должны выполняться с помощью оптимальной для разработки данной продукции программы, т.е. базирующейся на достаточно адекватных учитывающих физические явления математических моделях и достаточно быстродействующей для выполнения расчетов за время, приемлемое для разработки данной продукции.

1. Методы расчета теплового режима приборов / Г.Н. Дульнев, В.Г. Парфенов, А.В. Сигалов. – М.: Радио и связь, 1990. – 312 с.
2. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пономарев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 1040с.

УДК 623.4.052.52

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ НАВОДКИ ОПТИЧЕСКОГО ПРИЦЕЛА

Ийд Кусай Мохамад¹, Фёдорцев Р.В.¹, Шкадаревич А.П.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Унитарное предприятие «НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО»
Минск, Республика Беларусь

Оптический прицел обеспечивает более высокую точность наводки стрелкового оружия на цель по сравнению с классической оружейной мушкой. Точность наводки оружия на цель определяется точностью расчёта баллистической траектории движения пули и степенью воздействия внешних факторов среды. Для решения этой задачи осуществляют предварительный математический расчёт значений по пристрелке оружия с учётом различных дистанций и углов стрельбы, а также скорости ветра. Полученные численные значения в виде поправок в последующем выставляются на механизме горизонтальной и вертикальной выверки оптического прицела. Цель работы заключалась в разработке портативной конструкции модуля баллистического калькулятора на основе расчётных данных полученных в ходе численных методов

исследования в программном пакете Ballistic Explorer (Dexadine, Inc.).

В исходные данные были заложены параметры, учитывающие скорость и направления ветра, а также наклонение оси визирования относительно линии горизонта.

Принцип работы баллистического калькулятора рассмотрим на примере расчёта траектории движения пули от патрона 7Н6 калибром 5,45 мм для штурмовой винтовки АК-74Н с боковой планкой для установки ночного оптического прицела. Исходными данными для расчёта выступали следующие параметры: масса патрона – 3,43 г; начальная скорость пули 880 м/с. Переменными данными являлась дистанция пристрелки АК-74Н, которая выбиралась 100, 200 и 300 м.

Пристрелка оптического прицела на дистанции 100 метров даёт идеальную фокусировку прицельной сетки и мишени. На прицелах, с отстройкой