

## **СЕКЦІЯ 2**

### **ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ**

УДК 621.391.161

#### **ОБНАРУЖЕНИЕ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ**

*Коваль С.Т. Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина.*

Процедура обнаружения объекта всегда предшествует решению таких других задач, как: измерение информативных параметров, распознавание, слежение, фильтрация и, наконец, выполнение конечных функций, возложенных на оптико-электронный прибор определённого целевого назначения. Естественным приоритетом при этом является обеспечение высокой вероятности правильного обнаружения при максимально возможной дальности действия.

Статистическая теория оптимального обнаружения даёт законченное решение задачи обнаружения объекта с частично известными параметрами в присутствии белого, нормально распределённого шума. Решение может базироваться на одном из известных критериев, например, критерии Неймана – Пирсона. Наличие неравномерного фона с более мощным излучением, чем излучение малоразмерного объекта, в сочетании с необходимостью применения матричной системы детектирования в различных спектральных диапазонах и цифровой обработкой сигнала делают эту задачу нетривиальной.

В сообщении обсуждаются возможные пути повышения вероятности правильного обнаружения при использовании совокупности различных принципов обработки информации как в оптическом, так и аналогово-цифровом каналах. Рассматривается применение: спектральной фильтрации для повышения контраста, детектирования излучения в различных участках оптического спектра, пространственной фильтрации в плоскости анализа изображения и алгоритмов, улучшающих характеристики поисково-обнаружительных оптико-электронных систем.

Ключевые слова: обнаружение, фоно - целевая обстановка.

УДК 621.757

#### **ИНТЕРФЕРОМЕТР БЕЛОГО СВЕТА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОПОЛОГИИ МИКРОСТРУКТУР**

*Гураль Т.И., Овчар Н.И., Масленников С.А., Максимов А.А., Соболев В.П., Казенное предприятие специального приборостроения «Арсенал»*

Современные микро нано-технологии требуют применения специальных высокоразрешающих аппаратных средств контроля. Быстрое развитие данного направления промышленного производства предъявляет достаточно жесткие требования к их производительности, надежности и возможности применения в промышленных условиях. Существенным также является требование по бесконтактности средства измерения.

Как правило, топология микроструктуры поверхности должна определяться с разрешением не хуже:

- по высоте измеряемого профиля в направлении координаты  $Z - 1 \dots 0,1$  нм;
- в плоскости измерения по координатам  $X, Y - 1$  мкм.

В качестве средств измерения, в наибольшей степени отвечающих вышеперечисленным требованиям, можно назвать атомный силовой микроскоп (АСМ), конфокальный микроскоп, интерферометр белого света (ИБС) и лазерные 3D профилометры с использованием метода модуляционной интерференционной микроскопии.

Нами был разработан и изготовлен опытный образец ИБС для измерения микротопологии поверхностей и расчета их шероховатости. ИБС выполнен на основе схемы Миро. Данная схема наиболее компактна в конструктивном исполнении и позволяет контролировать поверхности при большом увеличении и, соответственно, при большом пространственном разрешении. В качестве оптической системы, формирующей интерференционную картину в плоскости приемной телекамеры, использовался интерференционный микрообъектив фирмы Никон совместно с дополнительным длиннофокусным объективом. Общее увеличение оптической системы составляло 50 крат, разрешение в плоскости предмета 0,5 мкм, по высоте профиля до 0,1 нм. Освещение поля зрения производилось по схеме Келлера. В качестве источника излучения был выбран светодиод белого свечения с корректировкой спектра излучения с помощью полосовых интерференционных светофильтров.

Сканирование поверхности в направлении высоты профиля осуществлялась с помощью перемещения оптического блока интерферометра с помощью пьезоактюатора. Наводка на плоскость измеряемой структуры производилось с помощью двигателя постоянного тока перемещением всей оптической головки.

Для обеспечения требуемого разрешения использовался метод интерферометрии сдвига фазы в совокупности с методом вертикальной сканирующей интерферометрии для подсчета целого числа полос.

Для подтверждения технических характеристик разработанного ИБС были проведены испытания с использованием различных трехмерных микроструктур, в том числе кремниевых подложек и оптических поверхностей: волоконно-оптических пластин, дифракционных решеток, гладких полированных и шероховатых шлифованных поверхностей.

Ключевые слова: интерферометр белого света, шероховатость поверхностей.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОЛЯ ОДНОМОДОВОГО He-Cd ЛАЗЕРА  
С ВОЗМУЩЕННЫМ РЕЗОНАТОРОМ

*Вербицкий В.П., Шмелева И.В., Казенное предприятие специального приборостроения  
«Арсенал», г. Киев, Украина*

В настоящей работе проводился анализ изменения структуры поля излучения одномодового лазера при различных углах между осями резонатора и газоразрядной трубки методом деструктивной интерференции. В методе деструктивной интерференции обеспечивается сложение двух пучков, фазы между которыми сдвинуты на величину  $\pi$ . При этом осуществляется вычитание изображений.

На Рис.1а приведена фотография типичного поля, наблюдаемого при восстановлении голограммы поля излучения лазера (калибровочная голограмма). При этом характер поля не изменяется при изменении угла  $\alpha$  между осью активной среды и резонатора. На Рис.1б показано распределение поля восстановленного с деструктивной голограммы для  $\Delta\alpha \approx 1^\circ$ . Видно образование поля структурно близкое к распределению поля в моде  $TEM_{01}$ . На Рис.1в восстановленное поле при  $\alpha \approx 2^\circ$ . Видно значительное обогащение пространственного спектра.

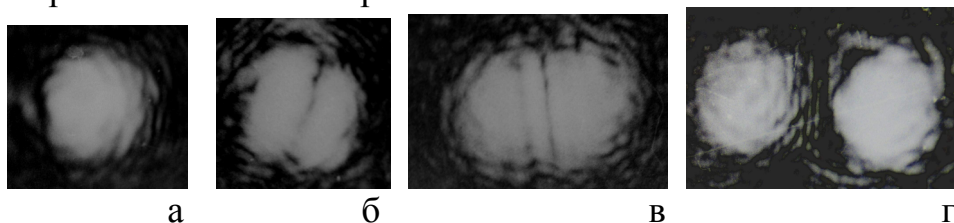


Рис.1

Наблюдавшиеся структуры полей качественно совпадают со структурами, которые получаются расчетным путем, для деструктивной интерференции двух смещенных гауссовых пучков [1].

На Рис.1г представлена структура восстановленного поля деструктивной голограммы при увеличении угла  $\Delta\alpha$  от  $2^\circ$  на несколько угл. минут. Наблюдается скачкообразное изменение структуры. Зафиксировано два независимых пучка, аналогичных восстановленному пучку калибровочной голограммы. Скачкообразное изменение пространственного спектра восстановленного поля деструктивной голограммы рассматривается авторами как смена моды направляемой открытым резонатором модой направляемой активной средой. Данный вывод подтверждается прямым измерением угла между осью резонатора и осью активной среды (газоразрядной трубки).

Ключевые слова: структура поля излучения, одномодовый газовый лазер, He-Cd лазер.

#### Литература

1. М.В.Васнецов. Оптические пучки с дислокациями волнового фронта. Докт.дисс.Киев–2005.

УДК 681.7

## ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ГИПЕРСПЕКТРОМЕТРА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*Тягур В.М., Казенное предприятие специального приборостроения «Арсенал», г. Киев,  
Украина*

Одним из наиболее важных источников получения оперативной и достоверной информации считаются космические оптико-электронные системы. Существует два пути, по которым идет развитие таких систем. Первый путь это повышение пространственного разрешения в одном или нескольких достаточно широких спектральных диапазонах. Второй путь – повышение спектрального разрешения путем увеличения количества узких спектральных каналов до сотни и более. Понятно, что по энергетическим ограничениям такие системы не могут иметь высокого пространственного разрешения, но изображения, полученные в узких спектральных диапазонах, несут уникальную информацию о свойствах объекта зондирования. В докладе представлены результаты разработки оптической системы гиперспектрометра.

Разработанная оптическая система состоит из приемного трехзеркального объектива с внеосевым полем зрения без центрального экранирования, входной щели спектрометра и зеркально-линзового объектива спектрометра с дисперсионным элементом, выполненным в виде дифракционной решетке на выпуклом сферическом зеркале. Оптическая система гиперспектрометра имеет следующие характеристики: фокусное расстояние  $f'_{об} = 257.7$  мм; диаметр входного зрачка 82 мм; относительное отверстие 1:3.14; щелевое поле зрения  $2\omega_x = 4^\circ 06'$ ; спектральный диапазон  $\Delta\lambda = 0.45 \dots 0.9$  мкм; количество спектральных каналов 115; спектральное разрешение  $\delta\lambda = 3,9$  нм; шаг дифракционной решетки  $15 \text{ мм}^{-1}$ ; дисторсия –  $\Delta y' \leq 0.1\%$ ; коэффициент передачи модуляции на частоте Найквиста  $\nu = 28 \text{ мм}^{-1}$  по полю зрения для всех спектральных каналов составляет  $M > 0.73$ .

В качестве приемника используется ПЗС-матрица CCD180-1M-SFT форматом  $1024 \times 1024$  пикселей размером  $0.018 \times 0.018$  мм. Гиперспектрометр обеспечивает с высоты орбиты 668 км проекцию пикселя сканера  $P = 46.5$  м и полосу захвата  $L = 47.6$  км для 115 спектральных каналов.

Ключевые слова: гиперспектрометр, дифракционная решетка.

УДК 681.7

## ОПТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ИНФРАКРАСНЫХ ОБЪЕКТИВОВ ДЛЯ ОХРАННЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ

Рассмотрены варианты построения оптических схем ИК-объективов для обеспечения наблюдения объектов в спектре 7...14 мкм на дистанциях 20...500 метров. Целью разработки являлось создание простых по конструкции и дешевых в изготовлении объективов, пригодных для изготовления и контроля оптических элементов и объектива в целом на существующем оборудовании.

Для удовлетворения этих требований выполнены абберрационные расчеты нескольких оптических схем, состоящих из трех (четырех) простых линз со сферическими поверхностями из материала германий оптический. Качество объективов приближается к дифракционному. Один из вариантов объектива был изготовлен в виде опытной партии. По результатам испытаний и контроля подтверждено заявленное качество.

Технические характеристики такого объектива приведены ниже:

поле зрения	~ 7°
относительно отверстие	~ 1:1,3
фокусное расстояние	~ 100 мм
спектральный диапазон	8...14 мкм
коэффициент передачи модуляции на частоте Найквиста	
20 лин/мм для всего поля зрения не менее	0,5
рабочая температура	от -40°С до +60°С

Подвижка для компенсации терморасстраиваемости и подвижка на дистанцию до объекта осуществляется внутренней линзой объектива.

После получения данных по качеству изготовления объективов опытной партии были проведены дополнительные расчеты для аналогичных схем объективов для разных фокусов от 18 до 200 мм, относительных отверстий от 1:1,5 до 1:1 и матриц с размерами 1/3" и 1/2". Результаты расчетов показали возможность создания на КП СПС «Арсенал» качественных и недорогих объективов, собираемых насыпным методом, в широком диапазоне фокусных расстояний и относительных отверстий в спектральном диапазоне 7...14 мкм.

Для расширения функциональных возможностей объектива возможно использование телескопических насадок с увеличением  $2^x \div 3^x$ . Насадки, аналогичные объективам, рассчитаны для возможности изготовления их насыпным методом. Оптические элементы представляют собой линзы со сферическими поверхностями из германия оптического, при этом обеспечивается качество насадок близкое к дифракционному. В настоящее время и объектив, и насадки выпускаются серийно.

Ключевые слова: инфракрасный объектив.

Современные сканеры дистанционного зондирования должны обладать высоким разрешением, большой полосой захвата и малыми весовыми и габаритными характеристиками. При этом для более точной привязки объектов на снимке к положению на местности объектив сканера должен не только обеспечивать качество изображения близкое к дифракционному пределу, но и не вносить дисторсионных искажений. В докладе представлены результаты разработки квазиортоскопических трехзеркальных объективов для широкоугольных сканеров высокого разрешения.

Первый разработанный объектив представляет собой зеркальный объектив, состоящий из трех асферических зеркал и одного плоского зеркала. Главное зеркало – вогнутый внеосевой гиперболоид, вторичное зеркало – выпуклый гиперболоид, а третье зеркало – вогнутый внеосевой эллипсоид. Разработанный объектив имеет следующие технические характеристики: фокусное расстояние  $f'_{\text{ОБ}} = 2258$  мм; диаметр входного зрачка 226 мм; относительное отверстие 1:10; щелевое поле зрения -  $2\omega_x \times 2\omega_y = 8^\circ 10' \times 0^\circ 20'$ ; линейное поле зрения  $2l \approx 324$  мм; дисторсия –  $\Delta u' \leq 0.002\%$ ; рабочий спектральный диапазон  $\Delta\lambda = 0.5 \dots 0.89$  мкм; длина объектива  $L_{\text{ОБ}} = 0.3 f'_{\text{ОБ}}$ ; коэффициент передачи модуляции на частоте Найквиста  $\nu = 57$  мм<sup>-1</sup> по полю зрения составляет  $M = 0.42 \dots 0.45$  при дифракционном пределе  $M = 0.49$ .

Такой объектив с несколькими ПЗС-линейками обеспечивает с высоты орбиты 668 км проекцию пикселя сканера  $P = 2.59$  м и полосу захвата  $L = 95.2$  км.

Второй разработанный объектив состоит из главного внеосевого зеркала с асферикой высшего порядка, вторичного параболического зеркала и третьего сферического зеркала. Объектив имеет следующие технические характеристики: фокусное расстояние  $f'_{\text{ОБ}} = 2340$  мм; диаметр входного зрачка 260 мм; относительное отверстие 1:9; щелевое поле зрения –  $2\omega_x \times 2\omega_y = 15^\circ 20' \times 3^\circ 10'$ ; линейное поле зрения  $2l \approx 630$  мм; дисторсия –  $\Delta u' \leq 0.02\%$ ; рабочие спектральные диапазоны:  $\Delta\lambda_{\text{ПАН}} = 0.5 \dots 0.89$  мкм,  $\Delta\lambda_1 = 0.5 \dots 0.59$  мкм,  $\Delta\lambda_2 = 0.6 \dots 0.69$  мкм,  $\Delta\lambda_3 = 0.79 \dots 0.89$  мкм; длина объектива  $L_{\text{ОБ}} = 0.42 f'_{\text{ОБ}}$ ; коэффициент передачи модуляции на частоте Найквиста  $\nu = 57$  мм<sup>-1</sup> по полю зрения для панхроматического канала составляет  $M = 0.50 \dots 0.54$  при дифракционном пределе  $M = 0.54$ .

Такой объектив с несколькими ПЗС-линейками обеспечивает с высоты орбиты 668 км проекцию пикселя сканера  $P = 2.5$  м и полосу захвата  $L = 180$  км.

Ключевые слова: сканер высокого разрешения, квазиортоскопический трехзеркальный объектив.

# ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ ІЧ ОГС НА ОСНОВІ СТАБІЛІЗОВАНИХ ПЛАТФОРМ З ІНДИКАТОРНИМ ПРИВОДОМ

*Бондарчук П.С., Багришев Г.Д., Власов В.О., Вовк С.В., Піорко В.А., Сліпачук А.І., Крижанівська С.В., Порушкевич І.А., Казенне підприємство спеціального приладобудування „Арсенал”, м. Київ, Україна*

В малогабаритних інфрачервоних оптичних головках самонаведення (ІЧ ОГС) для авіаційних ракет класу „повітря-повітря” широко і успішно застосовуються одногіроскопні стабілізатори на основі вільного гіроскопа. В ОГС ротор гіроскопа сумщений із приймальним дзеркалом об’єктива ОГС; на ньому ж встановлюється магніт, що задає момент трьохмірного приводу вузла корекції обертання; ухилами елементів об’єктива-ротора забезпечується кругове сканування зображення. Таким чином здійснюється високоточна трьохвимірна стабілізація ОГС.

Недоліки такої конструкції: обмеження кута пеленгу (до  $40-45^\circ$ ); погіршення точності ОГС через вплив приводу обертання (пеленгові та крос-пеленгові похибки, синхронні похибки тощо), перехресні зв’язки з причини лінійних перевантажень ракет.

В подальших модифікаціях ОГС застосовується двохступеневий стабілізатор: вільний гіроскоп встановлюється в двохвісній платформі з електроприводами. В такій конструкції збільшується кут пеленгу до  $\pm 75^\circ$ , зменшуються синхронні похибки, відсутні пеленгові похибки, але і залишається ряд недоліків, які принципово не можуть бути усунені в такій конструкції.

У сучасних ОГС застосовуються високоточні, з розширеними функціональними та спектральними можливостями, але габаритні, багатоелементні, багатоспектральні лінійки та матриці ФПП, що обмежено узгоджуються в конструкції двоступеневого стабілізатора.

Новою високоефективною проривною конструкцією без таких недоліків є розроблена конструкція ОГС на основі малогабаритної стабілізованої платформи з індикаторним приводом.

В даній концепції побудови платформи запропоновано та досліджено кілька варіантів стабілізованих платформ.

Досліджені варіанти застосування кількох типів інерціальних датчиків для стабілізації платформи: динамічно настроювані гіроскопи, датчик кутового прискорення, лазерний гіроскоп, волоконно-оптичний гіроскоп (ВОГ), ДУС на основі МЕМС-технології.

Найбільш прийнятним для побудови стабілізованої платформи в експериментальних дослідженнях виявилось застосування ВОГ (три ВОГ в ортогональному базисі стабілізації приладу зображення).

В експериментальній ОГС досягнута точність стабілізації – 10 кутових секунд, просторове розділення (із застосуванням ФПП-128-елементної лінійки у спектральному діапазоні 8-14 мкм) – 40 кутових секунд.

Опрацьовано також варіант застосування (замість ВОГ) датчиків кутової швидкості на основі МЕМС-технологій, які при підвищенні точності вимірювань є перспективними для створення малогабаритних ОГС.

Розроблені та відпрацьовані також інші принципово важливі елементи (вузли, блоки) стабілізованої платформи: датчик моменту – торцевий безколекторний двигун постійного току; оптичний сканатор барабанного типу з приводом на електродвигуні та ін. Розпочата розробка високоточного інтегрованого прямого приводу малої потужності на основі безколекторних моментних двигунів з гладким стартом, спроектованих за критерієм максимуму ефективності та ін. Удосконалена електроніка керування на базі спеціалізованого мікроконтролера з програмованими параметрами обертання вихідного валу та ін. електромеханічна елементна база.

Розглянуті схемно-технічні шляхи подальшого удосконалення стабілізованих платформ з індикаторним приводом.

Ключові слова: моделювання інфрачервоних оптичних головок самонаведення (ІЧ ОГС), стабілізована платформа з індикаторним приводом, удосконалення стабілізованих платформ з індикаторним приводом.

УДК 623.451.8.004.66.02

## УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРОБОК ІНФРАЧЕРВОНИХ ГОЛОВОК САМОНАВЕДЕННЯ (ІЧ ОГС) ДЛЯ ПЗРК

*Ткаченко О. А., Івкін С.Н., Смолков Д.Г., Кацімон В.В., Влащук А.В., Гезей О.В.,  
Казенне підприємство спеціального приладобудування «Арсенал», м. Київ, Україна*

КП СПБ «Арсенал» є одним з визнаних світових лідерів з розробки та виготовлення інфрачервоних оптичних головок самонаведення для переносних зенітно-ракетних комплексів (ПЗРК).

Оптико-електронний прилад цього класу при своїх незначних габаритах та надзвичайно високих експлуатаційних вимогах як за тактико-технічними характеристиками (ТТХ), так і механічними і тепловими перевантаженнями є системою, надзвичайно насиченою наукоємними і високотехнологічними рішеннями.

Надзвичайно складно удосконалювати висококласні і всесвітньо відомі своїми ТТХ вироби власної розробки в безперервній конкуренції з світовими лідерами в даному класі озброєнь.

Тим не менш, останні розробки цих приладів нашим підприємством завдяки оптимальному моделюванню і проектуванню, удосконаленню технологічних процесів виготовлення і настроювання, стендових та натурних випробувань, застосуванню нової елементної бази і мікрообчислювальних пристроїв в електронному відсіку ОГС дозволили створювати ОГС нового покоління, які



відповідають кращим світовим зразкам, а за деякими характеристиками і переважають їх.

Значне покращення ТТХ ОГС нового покоління досягнуте за рахунок удосконалення фотоприймальної системи на лінійних та фотоприймальних матрицях, що працюють в кількох діапазонах інфрачервоного спектру, збільшенням кількості і якості датчиків положення корпусу ОГС та за рахунок інтелектуальної обробки інформації в цифровому обчислювачі та аналогових вузлах.

Як приклад, одна з останніх розробок ОГС при зменшених габаритах та масі значно переважає аналоги за захищеністю від протидії тепловими перешкодами і має рекордну дальність захвату цілі.

Деякі концептуальні техніко-технологічні рішення є предметом даного повідомлення.

Ключові слова: інфрачервоні оптичні головки самонаведення (ОГС), концептуальні техніко-технологічні рішення з удосконалення ОГС.

УДК 623.4.084.7

## РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕФОКУСИРОВКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ В КООРДИНАТОРАХ ЦЕЛИ

*Ткаченко Е.А., Казенное предприятие специального приборостроения „Арсенал”, г. Киев,  
Украина*

Интервал температур, в котором должны функционировать оптико-электронные координаторы цели, составляет  $(-60 \dots +60) ^\circ\text{C}$ . В таком большом интервале неизбежно возникают термооптические смещения изображения цели относительно плоскости анализатора, т.е. термодефокусировка, которая ухудшает тактико-технические характеристики координатора. Устранить зависимость указанных характеристик от температуры можно специальной конструкцией держателей и оправ оптических элементов. Но для этого необходимо иметь точные данные о зависимости положения изображения цели от величины температуры. Широко применяемые для этого компьютерные программы (ZEMAX, CODE V, ОПАЛ) позволяют находить такие зависимости, но они не дают возможности аналитическим методом выявлять влияние тех или иных конструктивных параметров оптической системы на величину дефокусировки изображения.

В данной работе приводятся математические выражения, которые в аналитической форме представляют величину термооптической дефокусировки изображения как функцию конструктивных параметров оптической системы координатора, а также температурных приращений показателей преломления оптических материалов и температурных коэффициентов расширения

оптических материалов и конструкционных материалов держателей оптических элементов координатора.

В общем виде выражение  $ds'_p$  – величина дефокусировки изображения имеет вид

$$ds'_p = -f' T,$$

где:  $f'$  – фокусное расстояние оптической системы координатора,  $T$  – коэффициент термооптической аберрации. В основу расчета коэффициента термооптической аберрации  $T$  положено использование инварианта Аббе параксиальных лучей, преломляющихся или отражающихся на оптических поверхностях системы, а также метод Д.С. Волосова.

Аналитическая форма выражения  $ds'_p$  позволяет не только анализировать термооптическую дефокусировку изображения цели, но и решать обратную задачу, т.е. синтезировать оптические и механические элементы конструкции оптического блока координатора исходя из допуска на величину температурной дефокусировки.

Ключевые слова: термоабберации, температурная дефокусировка изображения.

УДК 623.451.8.004.66.02:621.384.326.2

## МАТЕМАТИЧНІ ТА НАПІВФІЗИЧНІ КОМПЛЕКСНІ МОДЕЛІ ДЛЯ РОЗРОБКИ ЦИФРОВИХ ІЧ ОГС НОВОГО ПОКОЛІННЯ

*Бучинцев С.В., Ільницький І.І., Кушаков В.В., Лукашевич Н.В., Півень О.Ю., Смолков Д.Г., Харченко Ю.П., Ходзинський М.П., Казенне підприємство спеціального приладобудування „Арсенал”, м. Київ, Україна*

КП СПБ „Арсенал” є всесвітньо визнаним розробником та виробником високоефективних інфрачервоних оптичних головок самонаведення (ІЧ ОГС) для авіаційних ракет класу „повітря-повітря” і переносних зенітних ракетних комплексів (ПЗРК). ІЧ ОГС належать до класу оптико-електронних приладів (ОЕП) автоматичного керування та самонаведення ракет на рухомі літальні апарати.

Високу точність та ефективність застосування такого озброєння забезпечують точність та динамічність автосупроводу, захищеність від перешкод, мінімальна дальність зриву автосупроводу, упереджене зміщення на кінцевій ділянці траєкторії польоту ракети тощо. Всі ці характеристики є високодинамічними і для їх забезпечення необхідне застосування математичного та напівфізичного моделювання, відпрацювання алгоритмів керуючих програм, оцінка статистичних характеристик в умовах комплексу оптико-електронної протидії у процесі самонаведення, особливо, особливо на кінцевій ділянці польоту ракети (ближній зоні) до об’єкта ураження.

Завдання підвищення порогової чутливості, точності наведення і динамічності перешкодозахищеності призвела до необхідності розробки нових

принципів побудови складних алгоритмів обробки інформації в поєднанні із забезпеченням високої надійності виробів, що є можливим тільки при застосуванні в розробці ОЕП – ІЧ ОГС комплексних математичних та напівфізичних моделей приладів такого типу.

Вперше в практиці підприємства розроблена повна комплексна математична модель авіаційного ракетного комплексу, з застосуванням якої проведено відпрацювання, налаштування, оцінка ефективності основних характеристик ОГС новітніх типів (в т.ч. з елементами технічного інтелекту, багатоеlementним двоспектральним пристроєм (ФПП) складної технології, високим просторовим розділенням і високодинамічними системами стеження та надвисоким обсягом цифрової інформації, які працюють в умовах складних організованих обставин оптико-електронних перешкод).

Ці фактори призводять до ускладнення комплексних математичних та напівфізичних моделей як за об'ємом так і точністю обчислень, швидкодією, необхідністю урахування таких факторів, як коливання ракети в польоті, маневрування цілі, зміни випромінювання цілі, наявності великої кількості хибних теплових квазіцілей, що одночасно з об'єктом враження знаходяться в полі зору фотоприймальної системи ІЧ ОГС тощо.

Розроблений комплекс моделей дозволяє застосувати математичні моделі у стендових, автономних та польотних випробуваннях і оптимізувати перешкодозахищеність ОГС, максимізувати точність самонаведення ракети та моделювати різні експлуатаційні режими функціонування ОГС. Доповнююча (у комплексі) напівфізична модель забезпечує настройку програм бортових обчислювачів (як окремих пристроїв так і всього електронного відсіку ОГС) в різноманітних експлуатаційних режимах бойового застосування, оцінювати перешкодозахищеність ОГС в режимі захвату і автосупроводу в умовах протидії у реальному просторовому русі ракети і цілі, що неможливо здійснити у стендових випробуваннях.

Застосування розробленого комплексу моделювання в розробці та випробуваннях ІЧ ОГС сучасних авіаційних ракетних комплексів дозволяє створювати нові сучасні авіаційні ракетні комплекси з характеристиками, що відповідають ТТХ (а за деякими параметрами і перевищують) найкращого іноземного озброєння даного класу.

Ключові слова: інфрачервоні оптичні головки самонаведення (ІЧ ОГС), математичні моделі, напівфізичні моделі, цифрові ІЧ ОГС, розробка ОГС, випробування ОГС.

УДК 621.378.325.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПЕРИМЕТРА КОЛЬЦЕВОГО ЛАЗЕРА В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР ОТ «-» 50 °С ДО «+» 50 °С

*Довгальок А. Н., Настич В. Н., Казенное предприятие специального приборостроения  
«Арсенал», г. Киев, Украина*

Как известно [1] кольцевой лазер (КЛ) является частотным датчиком угловой скорости. Одним из важнейших параметров, определяющим точность лазерного гироскопа (ЛГ), является стабильность несущей частоты КЛ – частоты лазерного излучения. Основной вклад в нестабильность частоты КЛ вносит изменение длины периметра резонатора, которое обусловлено температурным режимом работы ЛГ [2]. Для сведения к минимуму возмущающего действия температуры на работу ЛГ, резонатор КЛ выполняется в виде жесткого моноблочного конструктива из материала с малым коэффициентом термического расширения (КТР). В моноблоке высверливаются усиливающие каналы, которые заполняются рабочей активной смесью, на его привалочные грани устанавливаются на оптический контакт зеркала резонатора, электроды (аноды, катод), для возбуждения активной среды, также жестко крепятся методом пайки.

Отметим, что стабильность частоты КЛ прямо пропорциональна стабильности периметра резонатора:  $\Delta F/F = \Delta L/L$  [2]. Для стабилизации частоты КЛ используется зеркало специальной конструкции, установленное на пьезоэлектрический элемент (пьезокорректор), с помощью которого можно регулировать периметр резонатора.

Целью данной работы является исследование изменения периметра кольцевого лазера в диапазоне температур от «-» 50 °С до «+» 50 °С для определения необходимого динамического диапазона отработки пьезокорректора.

Исследования проводились на КЛ с моноблочным квадратным резонатором и периметром  $L = 28$  см. Материал моноблока – ситалл СО-115М, у которого  $\text{КТР } \alpha_{\text{ст}} \leq 1.5 \times 10^{-7}$  град<sup>-1</sup>. Резонатор образован двумя плоским и двумя сферическими зеркалами. Сферические зеркала имеют мембранную конструкцию и служат пьезокорректорами. В центральное отверстие моноблока вклеена инваровая втулка (КТР инвара  $\alpha_{\text{вт}} \leq 1.2 \times 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>), с помощью которой КЛ устанавливается в ЛГ.

Для определения величины  $\Delta L$  строился график зависимости выходной мощности КЛ от температуры:  $W = \Psi(T)$ .

При изменении периметра резонатора на величину, равную длине волны  $\lambda$ , одна продольная мода резонатора ( $TEM_{00q}$ ) замещается следующей продольной модой ( $TEM_{00q+1}$ ). По числу периодов  $N$ , наблюдавшихся в зависимости  $W = \Psi(T)$  при изменении температуры от «-» 50 °С до «+» 50 °С определяется  $\Delta L$  в единицах длины волны  $\lambda$ . Методика эксперимента позволяла разделить и определить вклад каждого отдельного элемента резонатора и конструкции крепления КЛ в общее изменение длины периметра.

Приведены результаты, полученные при исследовании, экспериментально оценен вклад каждого конструктивного элемента КЛ в изменение периметра ЛГ для рабочего диапазона температур. Раскрыт механизм физических процессов, влияющих на изменение периметра резонатора, дано объяснение

полученных результатов. Полученные экспериментально результаты находятся в удовлетворительном согласии с расчетной моделью.

Ключевые слова: кольцевой лазер (КЛ), резонатор КЛ, лазерный гироскоп (ЛГ).

**Литература:**

1. Ф. Ароновиц, Лазерные гироскопы, Сб. Применения лазеров, «Мир», Москва 1974.
2. Г.В. Галутва, А.И. Рязанцев, Селекция типов колебаний и стабилизация частоты оптических квантовых генераторов, «Связь», Москва 1972.

УДК 621.757

## АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ОБЪЕКТИВОВ

*Гураль Т.И., Овчар Н.И., Максимов А.А., Соболев В.П., Казенное предприятие специального приборостроения «Арсенал»*

Среди нескольких характеристик, определяющих качество оптических систем, оптическая передаточная функция (ОПФ) является наиболее надежной и универсальной характеристикой, принятой большинством компаний-производителей оптики и национальными институтами стандартов. При этом мировой тенденцией производителей объективов является 100% контроль выпускаемой продукции.

Для оценки качества объективов в основном используется модуль ОПФ - модуляционная передаточная функция (МПФ). Она характеризует способность оптической системы передавать различные пространственные частоты и позволяет получить информацию об амплитудных изменениях, вносимых оптической системой в пространственно-частотный спектр изображения объекта.

Аппаратура для измерения МПФ должна соответствовать довольно жестким требованиям, как в части точности измерения, так и по скорости измерений. Поскольку основным элементом аппаратуры является высокоточный коллиматор, на данной аппаратуре, как правило, дополнительно измеряются фокусные расстояния, фокальные отрезки, дисторсия и другие параметры, характеризующие качество объективов.

Помимо коллиматора, одним из основных элементов оптической схемы является фотоприемное устройство (ФУ). В качестве ФУ в современных системах измерения МПФ используется, как правило, матричный приемник в видимом диапазоне спектра и одноэлементный КРТ приемник со сканированием изображения тест-объекта в ИК диапазоне.

Нами было предложена и аппаратно реализована универсальная система измерения МПФ с использованием зеркального коллимационного объектива, обеспечивающая возможность работы с матричными приемниками как в видимом, так и в среднем ИК диапазоне (7...14 мкм). Это позволяет

унифицировать, как аппаратную реализацию, так и программное обеспечение и обеспечить возможность измерения всех характеристик при высокой точности и быстроте проведения измерений. В качестве объектива коллиматора использовался зеркальный объектив выполненный в виде внеосевой параболы с фокусным расстоянием 3 м.

В зависимости от требуемого спектрального диапазона в качестве источника излучения используется либо лампа накаливания, либо глобар, а приемником излучения служит цифровая видео камера с матричным CMOS приемником для видимого диапазона и соответственно болометрической матрицей для ИК диапазона. Погрешность измерения МПФ объективов по результатам испытаний не превысила 0,03 в абсолютных единицах для видимого диапазона и 0,05 для ИК диапазона во всем рабочем диапазоне пространственных частот.

Аппаратура была использована для контроля широкого спектра номенклатуры объективов с различными техническими и конструктивными характеристиками, работающими как в видимом, так и в ИК диапазоне спектра.

Ключевые слова: модуляционная передаточная функция, качество объективов.

УДК 621.375.826

## АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ДАЛЬНОМЕРА НА ЦИФРОВОЙ ФОТОКАМЕРЕ

*В. Л. Козлов, И. Р. Кузьмичев, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь*

Методика измерения расстояний и размеров объектов с использованием цифровой фотокамеры основана на принципах фотограмметрии и корреляционной обработки цифровых изображений [1]. Для определения расстояния  $Z$  используется стереоскопическая система. В пространстве произвольно выбираются два положения камеры, при этом используется методика измерений, при которой не изменяется угловая ориентация оптической оси камеры при перемещении в пространстве. Дальность до объекта  $Z$  из геометрии изображений определяется из соотношения

$$Z = \frac{fL}{x' - x''},$$

где разность  $(x' - x'')$  – смещение (диспаратность) объекта в плоскости изображения на первом и втором снимках стереопары соответственно,  $f$  – фокусное расстояние оптической системы,  $L$  – величина базы. В процессе обработки задается окно сканирования, содержащее участок исследуемого объекта, и затем выполняется автоматическое сканирование одного окна относительно другого, которое проходит в два этапа: грубая оценка и уточнение. В процессе этапа грубой оценки определяется сдвиг между

изображениями с разрешением в 1 пиксель по положению максимального значения двумерной нормированной корреляционной функции. На этапе уточнения разрешение улучшается до сотых долей пикселя и при этом используется билинейная интерполяция сигнала с заданным шагом. Абсолютная погрешность измерения расстояния  $\Delta Z$  определяется следующим выражением

$$\Delta Z = \frac{rZ^2}{La_u - rZ}, \quad a_u = \frac{f}{w},$$

где  $a_u$  – эффективный размер пикселя,  $w$  – расстояния между чувствительными элементами фотоприемной матрицы вдоль строк,  $r$  – разрешение обработки.

Исследования макета измерительной системы с использованием цифровой фотокамеры Canon PowerShot A550, с матрицей размером 7.1 мегапикселей и фокусом объектива 5,8 мм показали разрешение по дальности порядка нескольких мм на расстояниях до 100 м. Очевидно, что используя более длиннофокусный объектив и фотоприемную матрицу большего размера, можно значительно улучшить погрешность измерения дальности.

Ключевые слова: фотограмметрия, корреляционная обработка изображений.

#### Литература

1. Грузман И.С. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И.С. Грузман и др. Новосибирск: НГТУ, 2000. 168 с.

УДК 535.826.001.24

## DIFFRACTION DEPTH OF FOCUS IN OPTICAL SYSTEMS

*Volodymyr Borovytsky,  
Optical Engineering Department, NTUU "KPI", Kyiv, Ukraine*

The paper presents the mathematical technique for calculation of the diffraction depth of focus of a high aperture optical system. The proposed technique applies the Rayleigh criterion based on evaluation of the wave aberration appeared due to defocus in a high aperture optical system. The maximal value of a linear approximation of this aberration is used to define the depth of focus. The proposed analytical expression for calculation of the depth of focus is the following:

$$\Delta Z = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\lambda}{n \cdot \sin(\sigma) \cdot \sigma} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\lambda}{\text{NA} \cdot \arcsin\left(\frac{\text{NA}}{n}\right)}$$

where  $\Delta Z$  – the diffraction depth of focus based on Rayleigh criterion and linear approximation of the defocus wave aberration; NA,  $\lambda$  – the numerical aperture of an optical system and the wavelength, respectively:  $\text{NA} = n \cdot \sin(\sigma)$ ;  $\sigma$ ,  $n$  – the aperture angle of an optical system and the refractive index in object space, respectively.

It is proven theoretically and experimentally that optical systems with  $NA > 0.5$  have the diffraction depth of focus which differs 25 – 40 % from the depth calculated using the widely known formulas. It is illustrated by the following example of a focusing diagram of the microscope optics (Fig. 1): objective Zeiss Epiplan-Neofluar 20x/0.50,  $\lambda=0.55 \mu\text{m}$ ,  $n=1.0$ , known formula  $\Delta Z = n \cdot \lambda / (2 \cdot NA^2) = 1.10 \mu\text{m}$ , proposed formula –  $\Delta Z = 1.65 \mu\text{m}$ , measured depth of focus  $1.60 \mu\text{m}$ .

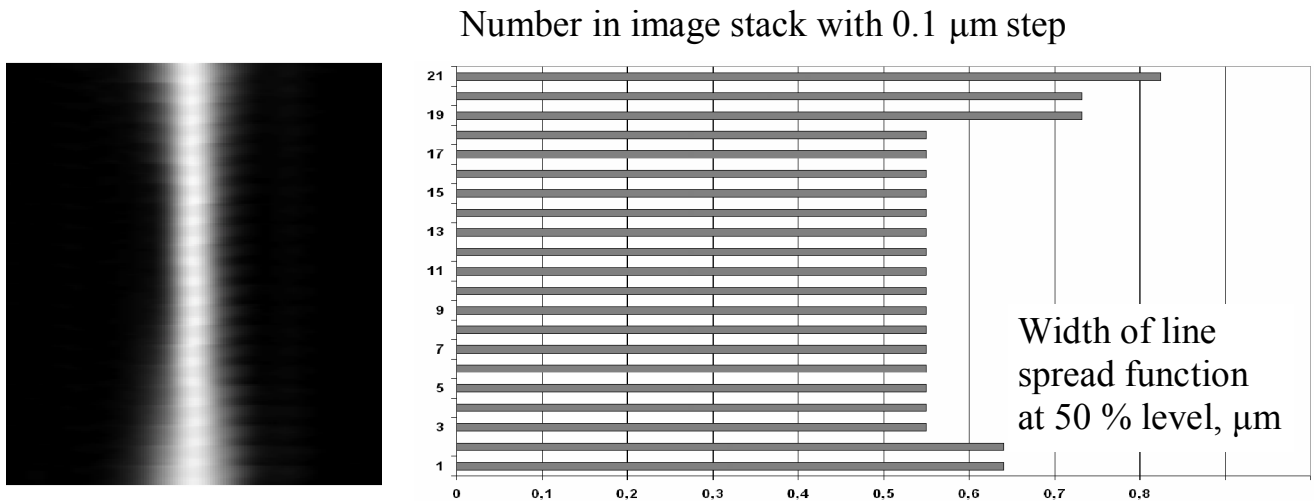


Fig. 1. Focus diagram and the width of line spread function at 50 % level as a function of defocusing.

Key words: depth of focus, wave aberration, image quality, Rayleigh criterion.

УДК 535.2

## ПРО ЗАГАЛЬНІСТЬ (*GENERICITY*) ОПТИЧНИХ СИНГУЛЯРНОСТЕЙ

Г.В. Богатирьова<sup>1</sup>, Х.В. Фельде<sup>2</sup>, П.В. Полянський<sup>2</sup>

<sup>1</sup> НТУУ «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна

<sup>2</sup> Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича, Чернівці, Україна

Робота присвячена обговоренню ступеня загальності («внутрішньої притаманності») фазових сингулярностей в оптичних, ширше – електромагнітних, полях. Розглядаються поля загального вигляду – як скалярні, коли поляризацію світла можна не враховувати, так і векторні, коли стан і ступінь поляризації поля суттєво пов'язані з його когерентними характеристиками. Аналіз базується на результатах оригінальних публікацій авторів [1-3], а також на новітньому фундаментальному огляді [4]. Результати аналізу підтверджуються новими експериментальними даними.

Досліджено наступні випадки: (i) суперпозиція двох строго взаємно когерентних хвиль з однаковими амплітудами; (ii) суперпозиція двох строго взаємно когерентних хвиль з різними амплітудами; (iii) суперпозиція двох строго взаємно когерентних, але ортогонально поляризованих хвиль; (iv)



найбільш загальний випадок частково когерентних, неоднорідно поляризованих оптичних полів.

Результати теоретичного розгляду та експериментів призводять до наступного висновку: фундаментальним типом сингулярностей є фазові сингулярності кореляційних функцій поля. Лише такі сингулярності є реально спостережуваними (вимірюваними), усі інші обговорювані у літературі сингулярності – похідні, які є певними (просторовими або часовими) «проекціями» сингулярностей кореляційних функцій. Фазові сингулярності кореляційних функцій поля, як правило, співіснують з іншими типами сингулярностей, проте мають місце навіть тоді, коли інші сингулярності відсутні.

Ключові слова: сингулярна оптика, фазові сингулярності, часткова когерентність, часткова поляризація

#### Література

1. Bogatyryova G.V., Felde Ch.V., Polyanskii P.V., Ponomarenko S.A., Soskin M.S., Wolf E., "Partially coherent vortex beams with a separable phase," *Opt. Lett.* 28, 878-880 (2003).
2. Felde Ch.V., Chernyshov A.A., Bogatyryova H.V., Polyanskii P.V., Soskin M.S., "Polarization singularities in partially coherent combined beams," *JETP Lett.* 88, 418-422 (2008).
3. Chernyshov A.A., Felde Ch.V., Bogatyryova H.V., Polyanskii P.V., Soskin M.S., "Vector singularities of the combined beams assembled from mutually incoherent orthogonally polarized components," *J. Opt. A.: Pure Appl. Opt.* 11, 094010 (8 pp) (2009).
4. Gbur G., Visser T.D., "The structure of partially coherent fields," *Progress in Optics*, Ed. E. Wolf, 55 (C) 285-341 (2010).

УДК 535.2

## ПРО ГОЛОГРАФІЧНЕ ВІДТВОРЕННЯ ПСЕВДОХРОМАТИЧНОГО МЕХАНІЗМУ ЗАБАРВЛЕННЯ

*Г.В. Богатирьова<sup>1</sup>, Х.В. Фельде<sup>2</sup>, П.В. Полянський<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *НТУУ «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна*

<sup>2</sup> *Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича, Чернівці, Україна*

Стандартним методом отримання кольорових голографічних зображень, зокрема за голограмами Денисюка, що зчитуються у білому світлі, є запис «накладених» голограм на трьох довжинах хвиль [1], що цілком відповідає пануючій концепції адитивного кольороутворення (наприклад, у колірній системі RGB). Такий метод пов'язаний із значними технічними складнощами, оскільки його реалізація передбачає запис парціальних голограм на різних реєструючих середовищах, чутливих на відповідних ділянках спектру оптичного випромінювання й, одночасно, прозорих для інших ділянок спектру. Окрім того, як і в інших випадках (поліграфія, кольорове кіно та телебачення, монітор комп'ютера тощо), відтворення кольорів оригіналу є лише наближеним внаслідок звуження колірного охопту порівняно із тим, що визначається колірним локусом [2].

У даній роботі розглядається специфічний випадок відновлення кольорових зображень за голограмами, записаними у монохроматичному світлі (один лазер) й зчитуваними у білому світлі. Існує широкий клас природних об'єктів, забарвлення яких визначається їх періодичною або квазіперіодичною структурою, а не наявністю барвників (структурне забарвлення або псевдохроматизм). Ще Зоммерфельд у 1950 році зауважував [3], що не винайдено способу відтворення механізму псевдохроматизму, що відкрило би цілком нові можливості у техніці кольоровідтворення. Підхід, що пропонується, ґрунтується на наступних положеннях: (і) багато природних об'єктів є напівпрозорими – світло не лише відбивається від поверхні, але й потрапляє до спостерігача з внутрішніх шарів; (ii) голограма здатна відтворювати об'ємність, у тому числі й внутрішньої структури об'єктів вказаного класу; (iii) внаслідок дії низки факторів, спектральна селективність відбиваючої голограми, записаної у фотоемульсії товщиною в одиниці мікрметрів, не є обмежуючим фактором для відтворення зображення із широким спектральним складом. Таким чином, у відбиваючій голографії може відтворюватись псевдохроматичний механізм утворення кольору. При цьому, як і в інших випадках, можливості точного відтворення кольорів залишаються обмеженими.

Ключові слова: голографія, псевдохроматизм, об'ємне розсіяння, просторова роздільна здатність

#### Література

1. Кольер Р., Беркхардт К., Лин Л. Оптическая голография. – М.: Мир, 1973. – 696 с.
2. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике. – М: Мир, 1978. – 592 с.
3. Зоммерфельд А. Оптика. – М.: ИИЛ, 1953 . – 486 с.

УДК 519.6

## ЧИСЕЛЬНЕ ПОРІВНЯННЯ АЛГОРИТМІВ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ГЛОБАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

*Сокурєнко В. М., Сокурєнко О. М., Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ, Україна*

Задачі, які потрібно розв'язувати під час проектування оптичних систем (як і в цілому в техніці, медицині, бізнесі та прикладних науках) на сьогодні стають все більш громіздкими та складними. З математичної точки зору, ці задачі не є лінійними, квадратичними та унімодальними. Зазвичай, цільові функції цих задач є багатомодальними з піковими ділянками, впадинами та каналами різної висоти/глибини. Враховуючи значну розмірність простору параметрів, розв'язання задач подібного типу шляхом знаходження та порівняння всіх локальних оптимумів часто є практично неприйнятним. За останні декілька років у царині глобальної оптимізації (ГО) було запропоновано низку методів, які претендують бути ефективною

альтернативою для пошуку глобального оптимуму. Теоретично доведено, що кінцевий розв'язок, отриманий рядом таких методів, сходиться для глобального оптимуму (в ймовірнісному сенсі).

Метою даної роботи є перевірка дієздатності запропонованих методів ГО та виявлення найбільш ефективного з них з точки зору швидкодії (мінімальної кількості обчислень) та достовірності (що оцінюється за відсотком знаходження хибних розв'язків).

Для цього в роботі досліджується та чисельно порівнюється декілька методів ГО, серед яких метод проб (hit-and-run), імітаційний відпал (simulated annealing), генетичний алгоритм (genetic algorithm), метод диференційної еволюції (differential evolution), метод електромагнетизму (electromagnetism-like mechanism), та їх різновиди.

Алгоритми зазначених методів були реалізовані в одній програмі та тестувалися на одному персональному комп'ютері. Для чисельного порівняння була складена колекція з 50 тестових функцій, відомих з різних джерел. Розмірність простору параметрів розглянутих тестових функцій знаходилася в межах від 2 до 20.

Процедура пошуку проводилася для кожного алгоритму та кожного тесту по 10000 разів. Ефективність методу оцінювалася за кількістю обчислень оціночної функції та відсотком випадків, коли алгоритм виявився нездатним за обмежену кількість кроків знайти оптимум з заданим допустимим відхиленням.

В доповіді представлені результати досліджень, виявлені переваги і недоліки розглянутих методів ГО та визначено алгоритми, які можуть бути рекомендовані до використання як найбільш потужні та ефективні.

Ключові слова: глобальна оптимізація, алгоритм, імітаційний відпал, генетичний метод, метод диференційної еволюції, метод електромагнетизму.

УДК 621.383

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МЕДИЦИНСКИХ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ПРИБОРОВ

*Аль – Мзирави А.М., Колобродов В. Г., Котовский В.И., Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”, г. Киев, Украина*

Тепловизионные приборы (ТВП) предназначены для наблюдения объектов по их собственному излучению. Принцип действия приборов этого типа основан на преобразовании излучения инфракрасного (ИК) диапазона в видимый диапазон длин волн излучения.

Исследование пространственных распределений температуры по одной или двум координатам требует сканирования поверхности объекта, которое осуществляют либо механически (оптико-механически), либо электронным способом. Принцип электронного сканирования был реализован в разработанных в конце XX-го века матричных фотодетекторах нового поколения.

Класифікація ТВП весьма різноманітна і на даний момент немає єдиної, чіткої системи, що враховує одночасно сучасний стан цієї науково-технічної області, її розвиток і джерело створення. В науково-технічній літературі одні автори розділяють ТВП на три покоління, інші – на чотири.

Тепловізори спочатку розвивалися по двом основним напрямкам: з використанням дискретних приймачів випромінювання спільно з механічними системами сканування і пристроїв без таких. Сьогодні розробляються і створюються нові пристрої на базі багаторічкових і гіперспектральних систем.

Для зручності проведення аналізу існуючих, а також для отримання можливості більш чіткого визначення основних тенденцій розвитку ТВС, доречно розділити їх на три покоління з урахуванням загальних ознак, в тому числі і для медичної термодіагностики.

Області застосування ТВП як в військовому, так і в громадянському питанні все більш і більш розширюються.

В сучасний час тепловізори – перспективна галузь науки, техніки, промисловості з своїми науково-дослідницькими інститутами, конструкторськими бюро і спеціалізованим виробництвом.

Ключові слова: тепловізори, медичний тепловізор, фокальна матриця, тепловізор третього покоління.

УДК 621.382

## МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИЙ МОНІТОРИНГ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

*Микитенко В.І., Богославський С.Г. Національний технічний Університет України  
“Київський політехнічний інститут”, м.Київ, Україна*

У 2010 році в 19 регіонах України виникали надзвичайні ситуації, пов'язані з пожежами і вибухами. В основному подібні аварії пов'язані з перевищенням допустимого тепловиділення. Пожежі на штучних або природних об'єктах приносять величезну матеріальну, екологічну і моральну шкоду. Постійний або періодичний моніторинг тепловиділень на потенційно небезпечних об'єктах дозволяє визначити початок деструктивних фізичних або хімічних процесів, а також контролювати їх перебіг. Для термодіагностики складних великих об'єктів і територій використовуються тепловізійні системи, які забезпечують візуалізацію температурних полів. Суттєвого підвищення ефективності дистанційної термодіагностики можна досягти за рахунок комплексування тепловізійного та телевізійного каналів інформації.

Метою досліджень є вирішення ряду задач, які пов'язані трьома напрямками загальної проблеми – математичним моделюванням вхідних оптичних полів типових об'єктів спостереження, апаратно-програмною

реалізацією сумісної реєстрації інформації двома або кількома оптико-електронними блоками, інтерпретацією отриманих даних.

Для об'єктів спостереження типу устаткування з перетвореннями електроенергії розроблені спрощені алгоритми комплексування, які передбачають автоматичне підсвічування елементів видимого зображення на екрані дисплея, що відповідають елементам конструкцій з аномально високими тепловиділеннями. Для більш складних видів фоноцільової обстановки, які включають в себе об'єкти з внутрішніми тепловими джерелами, потужні заводи за рахунок зовнішнього опромінення, розроблені математичні моделі перетворення сигналів та запропоновані методики оцінки реальних власних тепловиділень. Вказані рішення доцільно використовувати, наприклад, для дистанційного моніторингу територій сховищ різноманітних відходів, териконів, для оцінки розливів нафтопродуктів на водних поверхнях. Наразі розроблені розрахункові моделі доопрацьовуються для більш адекватного врахування коефіцієнтів випромінювання реальних поверхонь. В конструкторській частині роботи запропоновані кілька схемних рішень оптичних систем для двоканальних оптико-електронних систем дистанційного моніторингу.

Ключові слова: комплексування зображень, багатоканальні оптико-електронні системи, оцінка ефективності, візуальні спостереження.

УДК 621.373

## АВТОМОДУЛЯЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ZIGZAG ЛАЗЕРАХ НА ОСНОВЕ ПЛОСКОЙ УСЕЧЕННОЙ ПРИЗМЫ

*Леоненя М.С., Манак И.С., Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь*

Система кинетических уравнений для плотности энергии  $u$  (Дж·см<sup>-3</sup>) излучения в трехзеркальном резонаторе и степени относительной инверсной заселенности  $N$  ионов Nd<sup>3+</sup> в активной среде твердотельного zigzag лазера на стекле имеет вид:

$$\frac{du}{dt} = \nu\mu(\kappa y - k_r)u + \varepsilon_{32}, \quad \frac{dN}{dt} = P_i - (P_i + A)y - B_{32}uy, \quad (1)$$

где:  $P_n$  – скорость накачки активной среды;  $A$  – вероятность спонтанных переходов с третьего уровня;  $B_{32}$  – коэффициент Эйнштейна для вынужденных переходов в канале  $3 \rightarrow 2$ ;  $\nu$  – скорость света в активной среде;  $\mu$  – коэффициент заполнения излучением резонатора;  $\kappa$  – предельный коэффициент усиления;  $\varepsilon_{32}$  – плотность мощности люминесценции,  $k_r$  – коэффициент потерь в трехзеркальном резонаторе zigzag лазера.

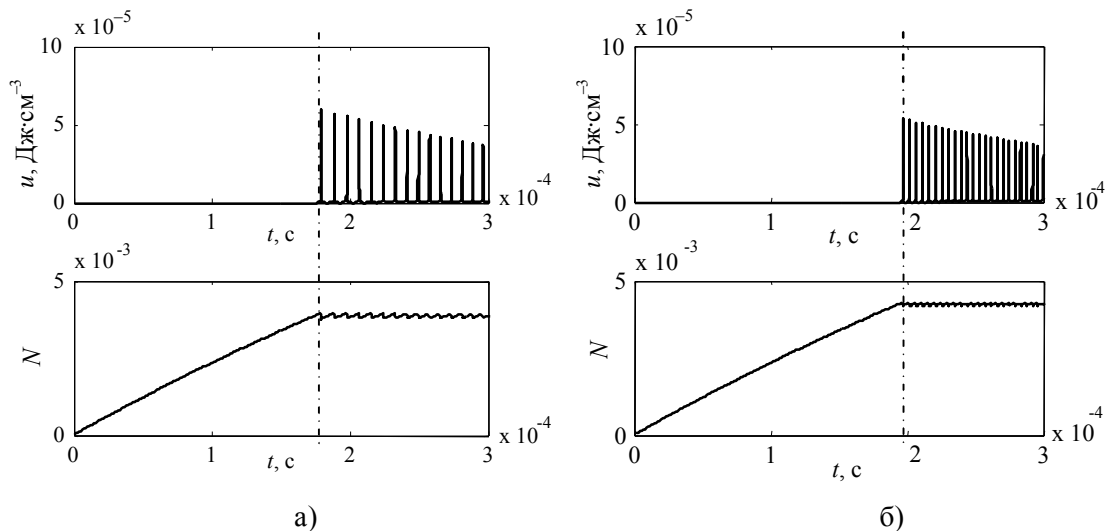


Рис.1. Зависимость скорости накачки  $P_n$ , плотности энергии  $u$  и степени относительной инверсной заселенности  $N$  от времени возбуждения активной среды накачкой для лазера с резонатором Фабри–Перо (а) и zigzag лазера (б)

В системе Matlab методом Рунге–Кутты рассчитана система уравнений (1) с параметрами  $B_{32} = 175 \cdot 10^{-7} \text{ см}^3 \cdot \text{Дж}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ ,  $\nu = 2 \cdot 10^{10} \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ ,  $\epsilon_{32} = 5 \cdot 10^{-9} \text{ Дж} \cdot \text{см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$ ,  $\kappa = 10 \text{ см}^{-1}$ ,  $A = 1400 \text{ с}^{-1}$  при подаче прямоугольного импульса накачки со скоростью  $P_n = 25 \text{ с}^{-1}$  и длительностью от  $t = 0$  до  $t = 0,3 \text{ мс}$  (рис.1). За счет повышения коэффициента заполнения до значения  $\mu = 3,8$  (вследствие наложения областей пучка, при его отражении под малыми углами от высокоотражающих покрытий трехзеркального резонатора zigzag лазера при однократном прохождении в резонаторе) и увеличения коэффициента потерь  $k_r = 0,0424 \text{ нс}^{-1}$  в резонаторе увеличивается частота следования импульсов генерируемого излучения на  $3,5 \text{ МГц}$  (на 47,3 %), в то время как уменьшается их амплитуда на  $30 \cdot 10^{-7} \text{ Дж} \cdot \text{см}^{-3}$  (на 5 %) по отношению к значениям при  $\mu = 1$  и  $k_r = 0,0387 \text{ нс}^{-1}$ , которые соответствуют лазеру с резонатором Фабри–Перо.

Ключевые слова: автомодуляция излучения, zigzag лазер, трехзеркальный резонатор, резонатор Фабри–Перо.

УДК 525.21

## ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА ПАРАЛАКТИЧНУ ПОХИБКУ ТЕЛЕСКОПІЧНИХ ПРИЦІЛІВ

*Кучеренко О.К., Національний технічний університет України «КПІ», м.Київ*

Оскільки телескопічні прицільні системи є приладами спеціального призначення, до них висувають жорсткі умови що до робочого діапазону температур, який може складати  $\pm 60 \text{ }^\circ\text{C}$ . В зв'язку з цим є необхідність проаналізувати, як зберігаються показники точності прицілювання у зазначеному діапазоні температур та, при необхідності, вдосконалити

конструкцію прицілів шляхом введення термокомпенсуючих елементів. Причиною зниження точності прицілювання в даному випадку є продовжний зсув площини зображення відносно площини прицільної сітки, або зсув проміжного зображення сітки відносно фокальної площини окуляра, що виникають внаслідок зміни конструктивних параметрів системи під дією температури. В свою чергу це призводить до збільшення кутової паралактичної похибки прицілювання.

Для досліджень був взятий стрілковий приціл змінного збільшення від 3 до 9 крат. Розрахунок впливу температури на розфокусування системи проводився за допомогою пакета прикладних програм Zemax. Програма Zemax враховує такі особливості оптичних систем при аналізі температурного впливу:

- зміну радіусів кривизни оптичних поверхонь;
- зміну довжин вісьових відрізків матеріалів;
- зміну показника заломлення (як повітря так і оптичних матеріалів), але в лінійному наближенні та без урахування довжин хвиль;
- зміну лінійних розмірів оправ та корпусу.

В результаті проведених досліджень визначені значення терморозфокусувань оптичної системи для вказаних можливих збільшень прицілів. Одночасно визначені припустимі значення розфокусувань на основі допустимої паралактичної похибки прицілювання. Порівнюючі отримані значення розфокусувань зроблені висновки відносно допустимого діапазона робочих температур для телескопічного прицілу при його різних збільшеннях. Надані пропозиції що до розробки методів компенсації температурних впливів введенням в конструкцію окуляра додаткової шкали, яка б давала можливість контролювати положення фокальної площини окуляра при різних температурах його експлуатації.

Ключові слова: телескопічні приціли змінного збільшення, паралактична похибка, терморозфокусування, компенсація терморозфокусувань, додаткова корегуюча шкала.

УДК 004.932.2

## ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВІДСЛІДКОВУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ШЛЯХОМ УТОЧНЕННЯ ЇХ РОЗМІРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ СЕГМЕНТАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

*Варфоломєєв А. Ю., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

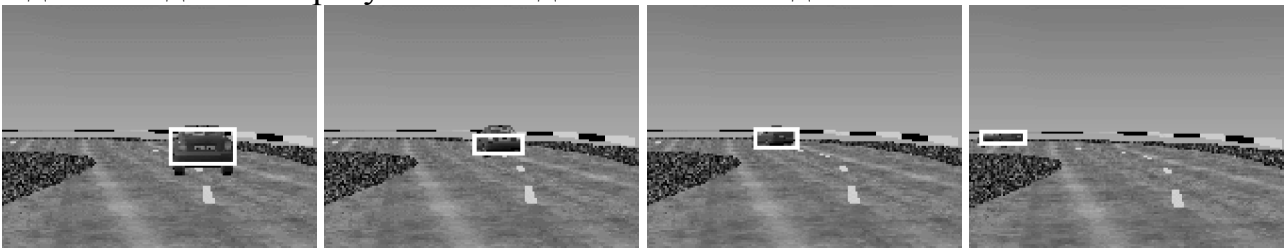
Автоматичне відслідковування об'єктів на відеопослідовностях є однією з найбільш складних та актуальних задач цифрової обробки зображень в сучасних оптико-електронних системах. При реалізації даних систем широкого розповсюдження набули методи пошуку об'єкта по заданому шаблону, на основі алгоритмів: кореляційного співставлення (нормалізована та фазова

кореляції, послідовне порівняння SSDA) та навчання в реальному часі (алгоритм online-AdaBoost, нейронних мереж, тощо).

Оскільки в реальних умовах об'єкт може змінювати яскравість та розміри, з метою забезпечення високої надійності відслідковування проводиться щокadroва зміна шаблону (перенавчання). Такий підхід в ряді випадків є виправданим, однак у більшості існуючих систем форма шаблону приймається незмінною. Детальний аналіз показує, що це може призвести до виявлення лише частини об'єкту, дрейфу області виявлення з плином часу, потрапляння до шаблону значної кількості фонові інформації, і як наслідок втрати об'єкту відслідковування.

З метою уникнення вищенаведених проблем в систему доцільно ввести процедуру уточнення розмірів шаблону відповідно до реальної форми об'єкту відслідковування. Для цього в області його розміщення пропонується виконувати сегментацію зображення. При цьому, на задачу сегментації можна накласти додаткові обмеження, що потенційно підвищать її якість: шукати лише два сегменти – фон та власне об'єкт; обмежувати розмір сегментів по площі; використовувати результати пошуку для визначення приблизних координат центру сегменту, який відповідає об'єкту відслідковування.

На основі запропонованого підходу в системі MATLAB створено та промодельовано систему відслідковування, яка для пошуку об'єкту використовує алгоритм нормалізованої кореляції, а уточнення форми шаблону здійснюється сегментацією за кольором по  $k$ -середніх. Отримані на синтетичній відеопослідовності результати моделювання наведені нижче.



Як видно, система надійно знаходить об'єкт на кожному кадрі, хоча без використання процедури сегментації відбувається зрив відслідковування.

Ключові слова: відслідковування об'єктів, сегментація зображень.

УДК 004.925

## ПРИМЕНЕНИЕ РАСТРОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ АВТОСТЕРЕОСКОПИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Рудченко Н. В., Национальный технический университет Украины «Киевский  
политехнический институт»*

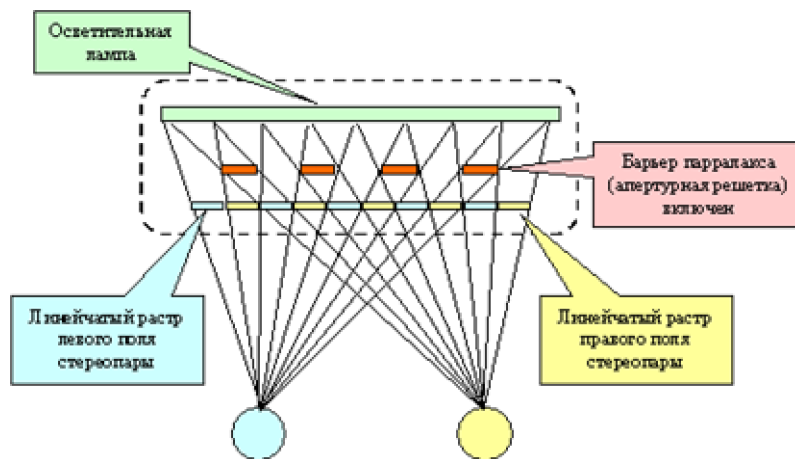


Исследования и экспериментальные разработки автостереоскопических систем начаты еще в 60-х годах. Наиболее глубокие и всесторонние исследования принципов функционирования таких систем были проведены Н.А.Валюсом и Т.Окиси [1]. В настоящее время наиболее распространены два варианта автостереоскопических систем – линзо-растровые и апертурно-растровые, причем в последние годы начато массовое производство апертурно-растровых стереодисплеев с так называемым барьером параллакса (этому способствовало интенсивное развитие LCD-технологий).

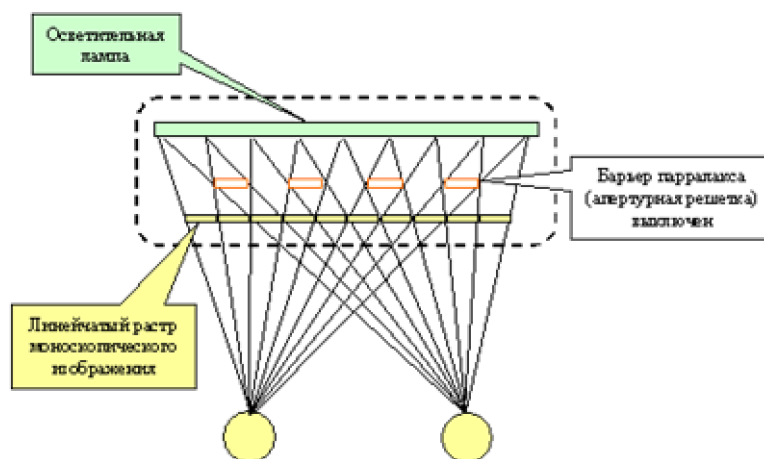
Принцип действия таких систем заключается в том, что каждый из трех электронных прожекторов, благодаря апертурной решетке (сетка из вертикальных струн), проецируются на нужные линии раstra (красный прожектор – на красные, зеленый – на зеленые, синий - на синие). Потоки световых лучей будут проходить от линейчатого цветового раstra изображения по направлению к глазу. Таким образом, необходимо образовать изображение из чередующихся вертикальных растровых полосок, на каждой из которых, будет размещен фрагмент изображения, предназначенный «своему глазу». Если перекрыть каждому глазу «чужое» изображение струнами апертурной решетки, то глаза увидят «свои» поля стереопары. При этом каждое изображение будет «прорежено» черными вертикальными полосками.

Схема, которая в настоящее время применяется в стереодисплеях имеет следующую структуру. Апертурная решетка (задний барьер параллакса) используется для создания вертикальных теней от плоской осветительной лампы на растре ЖК-экрана (рис. 1). Таким образом, она размещается не между наблюдателем и экраном, а между прозрачным ЖК- экраном и плоской осветительной лампой.

Стереодисплей с барьером параллакса может функционировать в двух режимах – моно и стерео. В стереорежиме барьер параллакса, представляющий собой еще один дополнительный ЖК-экран с вертикальными полосками. При этом полоски непрозрачны и создают тени от лампы в нужных местах основного экрана. В моно режиме задний ЖК-экран полностью прозрачен (тени на основном экране отсутствуют), и наблюдается моноскопическое изображение.



а) стереорежим (барьер параллакса включен)



б) монорежим (барьер параллакса отключен)

Рисунок 1 – Упрощённая схема принципа действия апертурно-растрового автостереодисплея

Наибольший эффект от линзово-растрового способа показа достигается, когда показываются не два кадра стереопары, а ряд кадров, сделанных с небольшим смещением по горизонтали (многокурсовая съемка). В этом случае при просмотре образуется широкая зона стереовидения, в которой наблюдатель может перемещаться, поочередно наблюдая сцену с разных ракурсов. Появляется возможность как бы заглянуть за объекты переднего плана. Это придает натуральность наблюдаемому стереоизображению и повышает качество проецируемого изображения.

Ключевые слова: автостереоскопическая система, линзово-растровый способ показа.

### Литература

1. Катус Г.П., Катус П.Г., Яковлев А.И. Трехмерные системы представления объемной информации. – М.: СИП РИА, 1998-112с.
2. Афанасьев В.О., Клименко С.В. Геометрические модели высокоточного формирования бинокулярного изображения виртуальной среды в ближней зоне//В сб.

УДК 004.925

## ПРИМЕНЕНИЕ РАСТРОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ АВТОСТЕРЕОСКОПИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Рудченко Н. В., Национальный технический университет Украины «Киевский  
политехнический институт»*

Исследования и экспериментальные разработки автостереоскопических систем начаты еще в 60-х годах. Наиболее глубокие исследования принципов функционирования таких систем были проведены Н.А.Валюсом и Т.Окиси. В настоящее время наиболее распространены два варианта автостереоскопических систем – линзо-растровые и апертурно-растровые, причем в последние годы начато массовое производство апертурно-растровых стереодисплеев с так называемым барьером параллакса (этому способствовало интенсивное развитие LCD-технологий).

Принцип действия таких систем заключается в том, что каждый из трех электронных прожекторов, благодаря апертурной решетке (сетка из вертикальных струн), проецируются на нужные линии растра (красный прожектор – на красные, зеленый – на зеленые, синий - на синие). Потоки световых лучей будут проходить от линейчатого цветового растра изображения по направлению к глазу. Таким образом, необходимо образовать изображение из чередующихся вертикальных растровых полосок, на каждой из которых, будет размещен фрагмент изображения, предназначенный «своему глазу». Если перекрыть каждому глазу «чужое» изображение струнами апертурной решетки, то глаза увидят «свои» поля стереопары. При этом каждое изображение будет «прорежено» черными вертикальными полосками.

Схема, которая в настоящее время применяется в стереодисплеях имеет следующую структуру. Апертурная решетка (задний барьер параллакса) используется для создания вертикальных теней от плоской осветительной лампы на растре ЖК-экрана. Таким образом, она размещается не между наблюдателем и экраном, а между прозрачным ЖК- экраном и плоской осветительной лампой.

Стереодисплей с барьером параллакса может функционировать в двух режимах – моно и стерео. В стереорежиме барьер параллакса, представляющий собой еще один дополнительный ЖК-экран с вертикальными полосками. При этом полоски непрозрачны и создают тени от лампы в нужных местах основного экрана. В моно режиме задний ЖК-экран полностью прозрачен (тени на основном экране отсутствуют), и наблюдается моноскопическое изображение.

Наибольший эффект от линзово-растрового способа показа достигается, когда показываются не два кадра стереопары, а ряд кадров, сделанных с небольшим смещением по горизонтали (многокурсовая съемка).

Ключевые слова: растровая технология, автостерескопия, барьер, стереорежим.

УДК 629.78

## ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ ОПТИКО – ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ВЫСОКОГО И СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

*Михеенко Л. А. Национальный технический университет Украины «Киевский  
политехнический институт», г. Киев, Украина*

Энергетическая калибровка оптико-электронных систем (ОЭС) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является важнейшим этапом их предполетной подготовки, от метрологического уровня которой во многом зависит качество получаемой с орбиты информации. К настоящему времени в США, России, ряде европейских стран разработано несколько типов установок для измерения энергетических характеристик ОЭС ДЗЗ. Ведется разработка таких устройств и в Украине для калибровки отечественных систем космического базирования. Однако, несмотря на достаточно высокий метрологический уровень, достигнутый в таких установках, их использование для калибровки разрабатываемых в настоящее время и перспективных ОЭС ДЗЗ высокого и сверхвысокого разрешения встречает ряд принципиальных трудностей, связанных, прежде всего, с отсутствием эталонных излучателей с соответствующими радиометрическими и метрологическими характеристиками.

Целью настоящей работы является анализ потенциальных возможностей известных установок для измерения энергетических характеристик ОЭС ДЗЗ и разработка на этой основе принципиально новых методов калибровки систем высокого и сверхвысокого разрешения. В частности автором предложена калибровочная система «Сфера» на основе диффузного излучателя переменной яркости, позволяющего формировать поле излучения с энергетической яркостью более  $800 \text{ Вт/ср.м}^2$ , неравномерностью этого поля менее  $0,1\%$  в динамическом диапазоне более  $10^5$ . Выходная апертура излучателя составляет при этом  $0,2 \dots 0,3 \text{ м}$ , а спектральный диапазон лежит в пределах  $0,35 \dots 2,2 \text{ мкм}$  при использовании отечественных галогенных ламп и покрытия рассеивающих поверхностей типа «Полихром – 1». Метрологический анализ системы показал,

что погрешность калибровки ОЭС ДЗЗ может составлять менее 2% в зависимости от схемы передачи единицы радиометрических величин.

В работе рассматриваются также вопросы подбора метрологических элементов и проектирования предложенной системы по заданным точностным и энергетическим параметрам.

Полученные результаты будут интересны специалистам в области оптической радиометрии и особенно разработчикам аппаратуры для калибровки ОЭС ДЗЗ нового поколения.

Ключевые слова: оптическая радиометрия, калибровка оптико-электронных систем дистанционного зондирования Земли.

УДК 535.317; 681.7

### ПРОГРАММА ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ ППП ОПАЛ И ПП ZEMAX

*Артюхина Н. К., Марчик В. А., Приборостроительный факультет БНТУ, г. Минск, Беларусь*

Проектирование оптических систем – сложный творческий процесс, требующий навыков работы с различными системами автоматизированного проектирования. Для эффективного решения практических задач и успешного использования, заложенных в программы возможностей, необходим оперативный обмен данными.

Расчет оптических систем на базе параллельно используемых программных комплексов ОПАЛ и ZEMAX достаточно распространен в расчетной оптике.

Одним из наиболее трудоемких и длительных этапов является ввод исходных данных. Возникла необходимость в автоматизации этого процесса.

Программа OZ разработана на основе самостоятельной программы Оптический Выпуск и предназначена для преобразования файлов исходных данных ППП ОПАЛ в файлы формата .zmx для последующего использования в программе ZEMAX. Программа позволяет оперативно генерировать файлы центрированных оптических систем со сферическими и асферическими поверхностями, используя каталоги как российских, так и зарубежных производителей стекол.

Программа Оптический выпуск помимо расчета параксиальных характеристик, автоколлимационных точек всей системы (импортируемой из программы ОПАЛ) и её отдельных компонентов, бликов 2-го порядка, вывода эскизов линз и оптической схемы содержит дополнительный блок считывания конструктивных данных оптической системы из ZEMAX для последующих расчетов.

Ключевые слова: ОПАЛ, ZEMAX, Оптический Выпуск.

УДК 681.7.013.8

# НЕЛІНІЙНА ОБРОБКА СИГНАЛІВ У СИСТЕМАХ ІЗ ПОСЛІДОВНИМ СКАНУВАННЯМ

*Захарченко В.С., Колобродов В.Г., Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Використання оптико-електронних систем спостереження з великим полем зору знайшло широке застосування як у військовій техніці, так і в пристроях дистанційного моніторингу Землі. Зображення створюється шляхом сканування довколишнього простору лінійним приймачем випромінювання.

Зображення, які створює така система характеризуються значною неоднорідністю за рахунок зміни умов спостереження під час сканування та різних текстурних фонів. Застосування класичних методів узгодженої лінійної фільтрації в даному випадку не може дати значного покращення якості зображення.

Для вирішення даної проблеми запропоновано застосовувати нелінійний триступеневий алгоритм аналізу отриманого зображення. Основа методу полягає в сегментації зображення із застосуванням фільтрів Рудіна-Ошера-Фатемі, які здатні виділити в зображенні регіони з однорідною текстурою та регіони, які містять зони переходу зі значними неоднорідностями. Другим кроком є застосування узгодженої лінійної фільтрації до ділянок зображення з однорідним фоном. Третій крок – аналіз ділянок зображення, в яких спостерігається значна неоднорідність за допомогою узгодженого вейвлет-перетворення.

Метод був протестований за допомогою комп'ютерного моделювання. Під час досліджень виявлено, що якість роботи системи на граничних дальностях значно покращується, особливо за умов спостереження об'єктів малого розміру із низьким контрастом, або при спостереженні об'єктів поблизу фонів із різною текстурою.

В результаті проведеної роботи було розроблено метод обробки двовимірних сигналів, який дозволяє аналізувати зображення із великим вмістом неоднорідних фонів шляхом сегментації, що дозволяє збільшити імовірність виявлення об'єктів малого розміру на граничних дальностях роботи системи.

Дослідження показують, що запропонований метод нелінійної обробки сигналів може бути застосований в системах дистанційного моніторингу земної поверхні, системах кругового огляду та інших оптико-електронних системах, які стикаються із зображеннями з великою кількістю неоднорідних фонів. Подальші розробки можуть бути направлені на вдосконалення методу злиття зображень із різними спектральними діапазонами.

Ключові слова: оптично-електронна система спостереження, цифрова обробка зображень, вейвлет-перетворення.

УДК 535.2

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПЛОСКО-ПАРАЛЕЛЬНОЇ ПЛАСТИНИ НА РОЗДІЛЬНУ ЗДАТНІСТЬ ФУР'Є-СПЕКТРОМЕТРА

*Богатирьова Г.В., Кондратенко Д.Ю., Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Робота присвячена дослідженню характеристик та принципів роботи Фур'є-спектрометра з кроковим та неперервним скануванням, що працює у видимій області спектру з джерелами лазерного випромінювання. Такі Фур'є-спектрометри можуть використовуватись при дослідженні речовин, що мають смуги поглинання (чи випромінення) у видимому спектральному діапазоні.

Як відомо, рідкі та газоподібні речовини для дослідження повинні розміщуватись у кюветі, виготовленій з певної марки скла чи іншого прозорого матеріалу, який, в свою чергу, за рахунок дисперсії вносить у різницю ходу променів, що інтерферують, певні зміни. Постає питання, яким чином наявність плоско-паралельної пластини (кювети) впливає на параметри відновленого спектру, зокрема на роздільну здатність.

Розглянуто вплив плоско-паралельної пластини, як вісьового диспергуючого елемента, на розділення Фур'є-спектрометра при введенні її в одне з плечей інтерферометра. Побудовано графіки спектрального розподілу інтенсивності випромінювання з врахуванням та без врахування плоско-паралельної пластини. Проведене порівняння впливу плоско-паралельної пластини та діапазону переміщення рухомого дзеркала на роздільну здатність Фур'є-спектрометра.

Розроблено схему керування п'єзодзеркалом, за умови що дзеркало повинно відхилятися на відстань в декілька  $\lambda$ .

Ключові слова: Фур'є-спектрометр, спектр, роздільна здатність.

УДК 681.325.2

## ПАРАЛЕЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОГО ЕЛЕМЕНТА ВЕКТОРА НА ОПТИЧНО-КЕРОВАНИХ ТРАНСПАРАНТАХ

*Мусійчук І.В., Любімов О.Ю., Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця,  
Україна*

На сьогоднішній день значний інтерес викликають пристрої, які необхідні для розв'язання конкретних прикладних задач з оброблення великорозмірних масивів інформації. До таких задач відносять розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь, зокрема, методом релаксації, що вимагає організації пошуку значення і положення максимального елемента вектора. До пристрою, що реалізує дану функцію, висувається ряд системних вимог, а саме –

необхідність організації паралельної обробки таким чином, щоб на рівні методу забезпечити відсутність залежності часових характеристик від розмірності вхідного вектора.

В роботі було запропоновано паралельний пристрій для визначення максимального елемента вектора, орієнтований на природний паралелізм оптоелектроніки. Запропонований паралельний пристрій усуває недоліки відомих методів сортування чисел, які використовуються для визначення максимального елемента вектора, а саме залежність часових характеристик алгоритмів від розмірності  $N$  вхідного вектора. Цей недолік усувається завдяки застосуванню методики проектування, яку отримано на основі модифікації відомих розрядних методів обробки, що базується на специфіці природного паралелізму цифрових оптичних обчислень. Крім того, за рахунок представлення вхідних операндів в формі з плаваючою комою значно розширено діапазон чисел, що обробляються.

В якості базових елементів пристрою обрано оптично-керовані транспаранти, що можуть досягати вищої швидкості обробки інформації ніж електрично-керовані за рахунок паралелізму при використанні матриці лазерних випромінювачів в якості управляючих сигналів.

Зокрема, отримано час роботи пристрою  $T = \tau_{\text{лог}} (18 + 6 \cdot P + 12 \cdot M)$ , що залежить від кількості розрядних зрізів мантиси  $M$  та порядку  $P$  операндів та часу  $\tau_{\text{лог}}$  спрацювання базового елемента. При використанні оптично-керованого транспаранту з часом спрацювання  $\tau_{\text{лог}} = 19.73 \text{нс}$ , який складе 13.6нс.

Ключові слова: пошук максимального елемента вектора, цифрові оптичні обчислення, розрядні методи обробки, форма подання даних з плаваючою комою, оптично-керовані транспаранти.

УДК 535.21

## НОВИЙ МЕТОД ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЛЕКСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ/ЗОБРАЖЕНЬ В ОЕСС

*Рибалко М.С. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Підвищення ефективності оптико-електронних систем спостереження (ОЕСС) все частіше забезпечується шляхом реалізації багатоканальності та комплексування інформації/зображень в цих системах і оцінюється за допомогою ймовірнісних характеристик виявлення та розпізнавання. Ймовірність сприйняття ТПВ/ТВ зображення є складною функцією, що залежить від характеристик об'єкта спостереження (відношення сигнал/шум, контрасту, кутових розмірів, форми, розміщення, орієнтації і швидкості руху на екрані); характеристик загального зображення на екрані дисплея (яскравості



фону, щільності та складності завад, розмірів екрана); характеристик ОЕСС (передаточної функції та пов'язаних з нею показників розділення, частоти кадрів, кількості рядків, кутових розмірів екрана, передачею сірої шкали градацій яскравості, динамічного діапазону); характеристик спостерігача (особливостей зору, тренуваності, інтелекту). Проте ймовірнісні характеристики не дозволяють повною мірою оцінити особливості перетворення інформації у вхідному та вихідному блоках ОЕСС. В зв'язку з цим на практиці здебільшого використовують часткові показники.

Якість зображень, отриманих ОЕСС, та результату комплексування оцінюють за допомогою суб'єктивних та об'єктивних методів. Найбільш достовірними є суб'єктивні методи, якщо спостерігач – кінцева ланка інформаційного комплексу, але вони трудомісткі та потребують значних коштів. Об'єктивні методи більш поширені, виконуються автоматично, але, в основному, не враховують особливості зорової системи спостерігача та поточну задачу спостереження.

В даній роботі запропоновано новий об'єктивний метод оцінки якості зображення на моніторі, що враховує не лише особливості зорової системи спостерігача, а й поточну задачу спостереження. Даний метод був випробуваний на реальних зображеннях, отриманих в ТВ та ТПВ каналах.

Результати експериментів показали, що використання запропонованого методу дозволяє приймати заходи по підвищенню ефективності ОЕСС на етапі моделювання. Експерименти проведені в пакеті Matlab.

Ключові слова: ОЕСС, комплексування

УДК 621:628.94

## ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІЗУАЛЬНОЇ ПОСАДКИ НА ВЕРТОПАЛУБУ

*<sup>1)</sup> Колобродов В.Г., <sup>2)</sup> Ліждвой О.Є., <sup>2)</sup> Степаненко В.В., <sup>2)</sup> Стефанович В.Т., <sup>1)</sup> Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна,  
<sup>2)</sup> Державне підприємство Науково-дослідний інститут "Квант", м. Київ, Україна*

Використання вертольотів на кораблях різних типів істотно підвищує експлуатаційні можливості, як цивільних судів, так і кораблів ВМС. Разом з тим, використання вертольотів корабельного базування висуває істотні вимоги до забезпечення зльоту й особливо посадки на палубу корабля.

Для забезпечення безпечного заходу на злітно-посадочну площадку (ЗППл) кораблів ВМС і суден різного призначення використовуються оптичні індикатори глісади і курсу з активною системою стабілізації оптичних осей щодо крену та диференту корабля.

У доповіді розглянуті допустимі спотворення сигналів, переданих пілотові, що викликані хитавицею корабля.

Складність проблеми посадки вертольота в морських умовах на кінцевому етапі посадки: від зависання над ЗППл до торкання з палубою - призводить до необхідності видачі пілотові оперативної візуальної інформації про стан ЗППл. Для цього використовується оптичний пілотажно-посадковий індикатор, розташований на палубі корабля, і обчислювальна система стартового командного пункту, що забезпечує обробку даних датчиків корабельних вимірювальних систем у режимі реального часу для визначення "вікон безпечної посадки". Обчислення зазначених "вікон" дозволяє прогнозувати в часі області допустимої хитавиці і використовувати цю інформацію для проведення операції морської посадки вертольота.

Ключові слова: вертоліт, посадка, корабельне базування, індикатор, глісада, курс.

УДК 621.383

## ПРЕДЕЛЬНЫЕ И РЕАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ NEP ПРИЕМНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ МИЛЛИМЕТРОВОГО И СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНОВ

*Шевчик-Шекера, А.В. Сизов Ф.Ф., Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН Украины*

За последние десятилетия научный прогресс стимулировал дальнейшее развитие и усовершенствование приемников излучения миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов. Длины волн данного излучения охватывают диапазон  $\lambda \approx 3\text{мм} - 30\text{мкм}$ , что соответствует терагерцовой (THz) области частот  $\nu \approx (0,1 - 10)\text{THz}$ .

Применение излучения в THz области частот используется во многих областях человеческой деятельности: сканеры для досмотра пассажиров в аэропортах, проверка почтовых отправок на содержание биологического оружия, контроль качества пищевых продуктов, биомолекулярные исследования, астрономии (наблюдения галактик, изучение галактической пыли, фонового излучения) и др. Одним из главных критериев эффективности работы приемников излучения в этой области частот является NEP (noise equivalent power) – мощность, эквивалентная шуму. Значения NEP описывают минимальный поток, который может регистрировать приемник излучения, при условии, что отношение сигнала к шуму равно единице

$$\text{NEP} = W_{\min} (S/N = 1)$$

Рассмотрены неохлаждаемые приемники излучения миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов и их значения NEP, достигаемые в реальных условиях.

Проведен сравнительный анализ предельных значений NEP тепловых ПИ с учетом ввода излучения микроантенной, для случая раскрытия антенны на уровне 3dB ( $A \cdot \Omega = 3,7 \cdot \lambda^2$ ) с учетом и без фактора группировки фотонов.

Ключевые слова: приемник излучения миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов; мощность, эквивалентная шуму.

УДК 621.384.3

## АЛГОРИТМ СЖАТИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ЯРКОСТИ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

*Колобродов В.Г., Пивторак Д.А., Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", г. Киев, Украина*

В связи с ограниченностью динамического диапазона фоторегистратора изображения, получение качественных снимков при цифровой съёмке объектов, имеющих большой диапазон яркости, вызывает определённые трудности. С целью минимизации потерь информации при фотографировании в таких условиях, разработана технология получения изображения с высоким динамическим диапазоном HDRI (High Dynamic Range Image) из нескольких изображений с низким динамическим диапазоном LDRI (Low Dynamic Range Image), полученных в результате съёмки одного и того же сюжета при разных уровнях экспозиции. Для корректного отображения HDR-изображений на стандартных устройствах визуализации, динамический диапазон сигнала подлежит дополнительному сжатию до уровня, который может быть воспроизведен на данных устройствах.

В работе предложен алгоритм получения результирующего цифрового изображения, совместимого по динамическому диапазону со стандартными устройствами отображения. Результирующее изображение формируется из серии LDR изображений того же объекта съёмки, полученных при брекетинге экспозиции, без создания промежуточного HDR изображения. Для каждого пикселя каждого цифрового изображения серии рассчитывается или измеряется значение параметра, определяющего эффективность съёмки по выбранному критерию. При определении параметра, определяющего эффективность, используется информация от соседних пикселей в пределах заранее заданного окна. При формировании результирующего изображения, в каждый его пиксель заносится информация из сопряжённого ему пикселя цифрового изображения, для которого ранее полученное значение параметра, определяющего эффективность съёмки, имеет оптимальное значение. В качестве критерия эффективности может быть использована разрешающая способность изображения в заданной области кадра. Рассмотрен подход к расчёту разрешающей способности изображения в заданной области кадра с использованием информации о функциях передачи модуляции и шумовых характеристиках звеньев, участвующих в построении изображения.

Проанализированы практические результаты, полученные при обработке реальных цифровых снимков с помощью специализированной программы, реализующей предложенный алгоритм. Показаны преимущества и недостатки разработанного алгоритма. Рассмотрен вопрос дальнейшего улучшения качества получаемого изображения.

Ключевые слова: брекетинг, экспозиция, HDR изображение.

УДК 615.47:681.7

## МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИЧНОЇ ОБЕРТАЮЧОЇ СИСТЕМИ ЕНДОСКОПА

*Трембовецька Р.В., Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна*

Розробка і широке використання в клінічну практику ендоскопічних методів дослідження значно розширили діагностичні і лікувальні можливості майже у всіх галузях медицини.

Конструкція робочої частини ендоскопа може складатися з лінзової, стержньової та градієнтної оптики.

На сьогодні використовується велика кількість різних оптичних обертальних схем ендоскопів для яких проведена корекція трьох поздовжніх аберацій (сферичної, хроматизму положення й кривизни зображення) [1].

Принципова схема у якій всі лінзи виконують з нормальними поверхнями склеювання (неахроматизованими і не виправленими на сферичну аберацію), а виправлення цих аберацій перекладають на єдиний афокальний компенсатор, значно зменшує кількість оптичних деталей і спрощує виготовлення ендоскопа. Оптична схема такого ендоскопа може бути представлена у вигляді [2]:

$$A[\overset{\circ}{i}a \overset{\circ}{e}o\overset{\circ}{d}\overset{\circ}{e}a] + A(\overset{\circ}{e}\overset{\circ}{i}\overset{\circ}{e}.) + A(\overset{\circ}{i}a\overset{\circ}{a}\overset{\circ}{d}\overset{\circ}{o}.) + A(\overset{\circ}{e}\overset{\circ}{i}\overset{\circ}{e}.) + \hat{E}\hat{u} [\overset{\circ}{a}\overset{\circ}{o}] + A[\overset{\circ}{i}\overset{\circ}{e}\overset{\circ}{o}\overset{\circ}{e}\overset{\circ}{y}\overset{\circ}{d}]$$

Для вирішення задачі збільшення довжини обертаючої системи без ускладнення її, використовують стержньові лінзи. Оптична схема обертаючої системи наступна [2]:

$$A[\overset{\circ}{i}a \overset{\circ}{e}o\overset{\circ}{d}\overset{\circ}{e}a] + A[\overset{\circ}{i}, \overset{\circ}{e}o] + A(\overset{\circ}{e}, \overset{\circ}{e}) + A(\overset{\circ}{e}o, \overset{\circ}{i}) + A[\overset{\circ}{i}\overset{\circ}{e}\overset{\circ}{o}\overset{\circ}{e}\overset{\circ}{y}\overset{\circ}{d}]$$

Одним із методів зменшення аберацій є використання замість звичайних - градієнтних лінз [1], що дає можливість замінити двома елементами декілька десятків мікролінз. При цьому коефіцієнт інтегрального світлопропускання значно збільшується і досягає 85-75% при довжині градана-транслятора від 50 до 200 мм (сферична аберація складає 0,311 мм).

Таким чином, оптичні системи, побудовані на основі градієнтної оптики, мають високу технологічність, підвищене світлопропускання та зменшені аберації. Тому для моделювання оптичної обертаючої системи (лапароскопів, цитоуретроскопів, бронхоскопів, ректоскопів, артроскопів та інш.) доцільно використовувати градани, де діаметр, довжина робочої частини, оптимальні робочі відстані визначаються безпосередньо будовою біологічного каналу.

Ключові слова: ендоскоп; лінзова оптика, стержньова оптика, градієнтна оптика, обертаюча система

#### Література

1. Т.Н. Хацевич, И.О. Михайлов Эндоскопы: Учебное пособие. – Новосибирск: СГТА, 2002. 196 с.
2. Русинов М.М. Композиция оптических систем. –Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1989. – 383 с.

УДК 621.373

## ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ZIGZAG ЛАЗЕРЫ В ФОРМЕ ПЛОСКОЙ УСЕЧЕННОЙ ПРИЗМЫ С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

*Леоненя М.С., Манак И.С., Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь*

Решение задач достижения компактности и повышения эффективности твердотельных лазерных систем может быть реализовано в лазерах с диодной накачкой активного элемента (АЭ) в форме плоской усеченной призмы и зигзагообразным ходом луча в трехзеркальном оптическом резонаторе (zigzag лазеры).

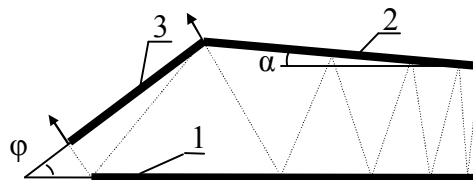


Рис.1. Оптическая схема трёхзеркального резонатора лазера и ход луча в нём:

1 и 2 – высокоотражающие зеркала, 3 – выходное зеркало

Излучение за один проход в резонаторе zigzag лазера (рис.1) испытывает многократные отражения от высокоотражающих зеркал 1 и 2, расположенных под малым углом  $\alpha$ , осуществляя перенос энергии при отражении на этих зеркалах к выходному зеркалу 3, расположенному под углом  $\varphi$  к зеркалу 1. Конструкция лазерного резонатора с высоким отношением длины траектории распространения излучения в резонаторе к длине АЭ, небольшим поперечным размером пучка выходного излучения и компактными размерами реализуется при значении углов  $0,1^\circ \leq \varphi \leq 30^\circ$  и  $0,1^\circ \leq \alpha \leq 5^\circ$ . Одна из плоскопараллельных граней АЭ используется для осуществления накачки от матрицы лазерных диодных или светодиодных излучателей. Другая противоположная ее грань выполнена с высокоотражающим покрытием на длине волны излучения накачки для повышения ее эффективности и однородности по всему объему.

В качестве активного элемента твердотельных zigzag лазеров наиболее перспективными представляются среды, легированные ионами редких земель, например  $\text{Nd}^{3+}$ ,  $\text{Er}^{3+}$ ,  $\text{Yb}^{3+}$ , внедренными в кристаллы или стекла. В качестве источников накачки используются лазерные диоды или светодиоды,

обеспечивающие высокий коэффициент полезного действия, низкое энергопотребление и большой срок службы твердотельных лазеров. Особенно перспективны в этом случае матрицы на основе GaAlAs, InGaAsP и InGaAs, спектром которых можно эффективно управлять путем изменения компонентного состава полупроводника. Такие источники накачки перекрывают спектр от  $\sim 0,75$  до  $\sim 1,1$  мкм. В спектре поглощения неодима имеется широкая полоса на длине волны  $\sim 0,8$  мкм и возможно идеальное согласование спектра поглощения ионов  $\text{Nd}^{3+}$  и излучения  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ -матрицы, диапазон работы которой лежит в области от  $\sim 0,75$  мкм до  $\sim 0,88$  мкм. Спектр поглощения ионов  $\text{Er}^{3+}$  лежит в области  $\sim 0,97$  мкм. В эрбиевых стеклах накопление энергии на верхнем лазерном уровне осуществляется преимущественно через канал сенсibilизации. Так, для ионов  $\text{Er}^{3+}$  эффективными сенсibilизаторами являются ионы  $\text{Yb}^{3+}$ , которые имеют единственную, но сильную полосу поглощения в области  $0,9 - 1,02$  мкм. Интенсивные линии поглощения  $\text{Yb}^{3+}$  можно эффективно использовать для лазерной диодной накачки вблизи  $0,98$  мкм InGaAs-матрицей со спектральным диапазоном от  $\sim 0,9$  мкм до  $\sim 1,1$  мкм. Идеальное согласование спектров поглощения активного вещества и спектров излучения матриц достигается изменением температуры теплоотвода последних, что также способствует увеличению эффективности накачки.

Ключевые слова: zigzag лазер, трехзеркальный резонатор, диодная накачка, усеченная призма, высокоотражающее покрытие.

УДК 528.7: 629.78

## РАДИОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КАЛИБРОВКИ ЭТАЛОННЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

*Михеенко Л.А., Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина*

Измерение энергетических характеристик и калибровка прецизионных цифровых видеосистем(систем дистанционного зондирования Земли, веб-камер, видеокамер для научных исследований и т.д.) является важнейшим фактором их успешной эксплуатации и дальнейшего совершенствования. Обычно для аттестации и калибровки соответствующих измерительных установок используются различные типы эталонных излучателей - модели чёрных тел, светоизмерительные лампы накаливания, устройства на фазовых переходах и др. Использование для абсолютизации измерений радиометров, хотя и обеспечивает меньшую точность по сравнению с методами переноса единиц радиометрических величин, но позволяет применять имеющееся в Украине метрологическое оборудование без обращения к дорогостоящим зарубежным эталонам.

Целью настоящей работы является разработка методов калибровки излучателей с использованием отечественных оптических радиометров и оценка их потенциальных возможностей для метрологического обеспечения оптико-электронных методов дистанционного зондирования Земли.

При этом рассматриваются три основных направления:

- калибровка по интегральной яркости ДИ с последующим определением спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) по измеренным относительным спектральным характеристикам;

- калибровка по эталону светового (лучистого) потока с компарированием излучения выходной апертуры;

- калибровка по измеренному полному излучению выходной апертуры с последующим расчётом СПЭЯ по известным фотометрическим характеристикам диффузного излучателя.

В работе показано, что в зависимости от применяемых радиометров, погрешность калибровки может составлять  $7 \dots 0,1\%$ . Также рассматриваются инженерные методы подбора основных метрологических элементов, схем калибровки, приводятся их паспортные данные, даётся оценка точностных характеристик.

Полученные результаты будут интересны специалистам в области оптической радиометрии и особенно разработчикам аппаратуры для энергетической калибровки эталонных излучателей.

Ключевые слова: оптическая радиометрия, калибровка эталонных излучателей, оптические радиометры.