## *СЕКЦІЯ 2*
## ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ

УДК 623.4.052

# ОПТИЧЕСКИЙ ПРИЦЕЛ С ДВУМЯ УВЕЛИЧЕНИЯМИ.

*Гордиенко В.И., Мазурин И.В., Шкапа В.Ф., НПК «Фотоприбор», г. Черкассы, Украина*

С целью более эффективного поиска цели и прицеливания с помощью оптического прицела обычно требуется несколько кратностей увеличения: меньшая ( с широким полем зрения) и большая (с узким полем зрения).

Смена кратности увеличения происходит плавно или дискретно. В первом случае для изменения кратности требуется 1,5 ÷ 3 с, во втором до 1 с. Однако, как в первом, так и во втором случае для обеспечения переключения кратности оператору необходимо приложить некоторые мышечные усилия, что может привести к нарушению операции (сбиванию) прицеливания.

Кроме того, усложняется конструкция прицела из-за введения подвижных компонентов для переключения кратности, а также необходимости обеспечить герметичность прицела в месте нахождения элемента переключения кратности.

С целью устранения вышеуказанных недостатков разработан оптический прицел с двумя увеличениями, в котором отсутствуют подвижные элементы.

В этом прицеле смена увеличения осуществляется смещением глаза оператора на 2-2,5 мм в сторону от оптической оси канала с большим увеличением.

Оптический прицел состоит из объектива, оборачивающей системы и окуляра, что позволяет получить увеличение $4^X$ . Для формирования канала с увеличением $7{,}8^X$ после объектива по ходу апертурного луча дополнительно включена оптическая система, обеспечивающая большее увеличение в меньшей части выходного зрачка прицела, причём высота, на которой идёт апертурный луч, и диаметр первой линзы оптической системы, расположенной по ходу этого луча, выбираются таким образом, чтобы площадь выходного зрачка прицела при большем увеличении не перекрывала центр выходного зрачка при меньшем увеличении.

В качестве недостатка можно отметить сравнительно небольшой диаметр выходного зрачка при большом увеличении.

Ключевые слова: оптический прицел, прицеливание, кратность.

УДК629.1.054

# МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УПРАВЛЯЕМЫХ ДВУХОСНЫХ ГИРОСТАБИЛИЗАТОРОВ ПОЛЯ ЗРЕНИЯ ПРИБОРОВ НАБЛЮДЕНИЯ

*Голуб А.Г., НПК «Фотоприбор», г. Черкассы, Украина*

Условия эксплуатации управляемых двухосных гиростабилизаторов (ГС) поля зрения приборов наблюдения (ПН) наземных подвижных объектов имеют свои особенности. Угловые ускорения при движении наземных объектов больше, чем при движении морских и воздушных объектов.

Требования к современным ГС наземных подвижных объектов связаны с повышением точности, технологичности, уменьшением времени готовности, снижением массы и габаритов. Этим требованиям отвечают двухосные индикаторно-силовые ГС на поплавковых интегрирующих гироскопах (ПИГ) и индикаторные ГС на волоконно-оптических гироскопах (ВОГ).

В индикаторно-силовых ГС ПИГ установлены на гироплатформе (внутренней раме ГС) так, что их главные оси параллельны стабилизируемой оси (линии визирования), а равные по величине собственные кинетические моменты направлены в противоположные стороны вдоль стабилизируемой оси. Такое расположение ПИГ в двухосном ГС уменьшает влияние угловой скорости крена на процесс стабилизации. Автокомпенсация погрешностей ГС при крене реализуется введением обратной связи по сигналу с ВОГ, установленного на гирораме с ориентацией его оси чувствительности параллельно линии визирования.

Для повышения технических характеристик ГС применяют:

- ПИГ с электрическим демпфированием и заполненных жидкостью с плотностью соответствующей максимальному взвешиванию поплавка;
- усилители разгрузки с зависимой амплитудно-частотной характеристикой от температуры ПИГ и интеграторами корректирующих усройств с нелинейной обратной связью;
- высоколинейные усилители мощности разгрузки со 100%-ой обратной связью по току в нагрузке;
- двигатели разгрузки и наведения постоянного тока с магнитами из редкоземельных материалов (Nd-Fe-B);
- ВОГ с чувствительностью не менее 0,005 грд/с и встроенной внутренней калибровкой собственных параметров.

Принятые меры позволяют достичь точности стабилизации 20 сек для ГС на ПИГ и 10 сек для ГС на ВОГ при возмущениях по трем осям.

Ключевые слова: гиростабилизатор, прибор наблюдения, поле зрения, линия визирования.

УДК 531.719+ 621.373

# ДВУХВОЛНОВОЙ РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ СВЕТОДАЛЬНОМЕР

*Манак И. С., Белявский В. С., Козлов В.Л., Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь*

Действие дальномера-рециркулятора основано на определении задержки излучения на измеряемой дистанции, при этом цикличность производимых измерений позволяет достичь большей точности по сравнению с импульсным дальномером. В рециркуляционном дальномере обратная связь осуществляется по оптическому излучению через измеряемую трассу, частота генерации является функцией длины трассы, равной удвоенному измеряемому расстоянию. Преимуществом рециркуляционного метода измерения расстояний является простота его реализации и высокая достижимая точность измерений.

Точность измерения расстояний одноволновыми лазерными дальномерами по величине оптической задержки сигнала на дистанции ограничена из-за отсутствия информации о скорости распространения излучения вдоль линии наблюдения в конкретных метеоусловиях. Для учета состояния среды на дистанции предлагается рециркуляционный метод измерения дальности, основанный на оптоэлектронной рециркуляции одновременно на двух длинах волн [1]. Метод позволяет получить информацию о скорости распространения излучения на трассе и учесть ее значение при вычислении дальности.

Другим источником погрешности измерения дальности является зависимость времени прихода импульса от величины порога и вида переходной оптической характеристики лазерного диода. Для повышения точности определения момента начала импульса нами применен двухпороговый метод. За начало импульса берется точка пересечения с осью времени прямой, проведенной через два фиксированных порога на переднем фронте принимаемого импульса. Так как в реальных импульсах передний фронт не линеен, увеличение точности фиксации момента прихода оптического излучения с дистанции будет достигаться, когда величина порога регистрации соответствует линейному участку фронта импульса.

В работе исследовалась гауссова модель импульса излучения с применением двухпорогого метода определения начала импульса. Построена математическая модель двухпоргового метода определения начала импульса в зависимости от уровней нижнего и верхнего порогов. Найдена зависимость времени начала импульса от уровня нижнего порога.

Ключевые слова: двухволновой лазерный диод, светодальномер-рециркулятор, дальность, порог.

**Литература**

1. Козлов В.Л., Кононенко В.К., Кузьмин К.Г., Манак И.С., Рециркуляционный дальномер на основе двухволнового инжекционного лазера// Датчики и системы. 2001. №7. С. 32-35.

УДК 621.382(075.8)

# ЛАЗЕРНЫЕ ДИОДЫ КАК РАБОЧЕЕ СРЕДСТВО ИЗМЕРЕНИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ МОЩНОСТИ В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА

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

Распределение интенсивности излучения в ближней зоне инжекционных лазеров (ИЛ) характеризуется большим коэффициентом астигматизма: вдоль перехода размеры светящейся области в зависимости от типа лазера определяются шириной кристалла (полоскового контакта, зарощенной структуры); в направлении, перпендикулярном переходу – длиной диффузии неравновесных носителей заряда (гомолазеры) или толщиной активной области (двухсторонние гетероструктуры). Поэтому возникают значительные трудности, связанные с астигматизмом в излучении ИЛ, при реализации на ИЛ рабочего средства измерения относительного распределения мощности (энергии) в поперечном сечении пучка.

Из всех возможных способов добиться стигматичности выходного пучка излучения полупроводникового лазера можно выделить применение призменного анаморфота. Одиночный призменный компонент применять нецелесообразно, так как при этом создается значительный излом оптических осей, возникают заметные аберрации, компенсация которых затруднительна. Многокомпонентные системы могут достигать значительных коэффициентов анаморфозы, однако возникают ограничения возможностей исправления аберраций смещения и изломов оптической оси. В результате наиболее оптимальной будет двухкомпонентная система. В такой системе имеется возможность панкратического изменения анаморфозы, что достигается изменением угла между призмами [1]. Для этого в двухкомпонентной системе оба компонента должны вращаться навстречу друг другу.

После исправления астигматизма пучок излучения представляет собой аксиально-симметричную структуру с гауссовым профилем интенсивности в сечении пучка излучения. Разработка оптических систем для излучателей этого типа, т. е. систем, достигающих дифракционного ограничения, с компенсацией сферической аберрации и комы возможна для входных апертур 0.2–0.6 с фокальными отрезками 6.5–50.0 мм, входным диаметром 8.0–20.0 мм, с хроматической коррекцией для рабочих спектральных диапазонов лазерного излучения 635, 650, 830, 1300, 1500 нм [1].

Анализируется функциональная схема установки и алгоритм измерения относительного распределения плотности мощности в поперечном сечении пучка излучения лазера с использованием поэлементного разложения изображения.

Ключевые слова: средство измерений, лазерный диод, астигматизм излучения, панкратическая система, анаморфот.

УДК 528.7:629.78

# АБСОЛЮТИЗАЦІЯ ФОТОТМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ У ВИДИМІЙ ТА БЛИЖНІЙ ІНФРАЧЕРВОНІЙ ОБЛАСТЯХ СПЕКТРУ

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

Однією з основних задач прецизійної фотометрії є абсолютизація вимірювань та пов'язане з нею калібрування еталонних випромінювачів в абсолютних одиницях. Ця проблема одна з найскладніших у сучасній оптичній метрології і, що стосується України, ускладнюється рядом факторів, серед яких, у першу чергу, варто назвати недосконаліть існуючої в країні оптичної еталонної бази, відсутність державної перевірочної схеми передачі одиниць енергетичних величин (є тільки відповідний проект ДСТУ), недоліки, фізичне та моральне спрацювання більшості зразкових оптичних засобів вимірювань різного рангу [1].

Метою запропонованої роботи є огляд, аналіз і розробка методів прецизійних вимірювань в абсолютних величинах енергетичних характеристик фотометричного обладнання на основі доступної в Україні еталонної та елементної бази.

Автором з метрологічної, конструкторської і економічної позицій розглянуто вітчизняні та закордонні оптичні еталони, схеми передачі одиниць енергетичних величин у видимій та ближній інфрачервоній областях спектру, а також їх елементи – джерела і приймачі випромінювання, спектральні компаратори, оптичні системи, системи їх комутації тощо. Розроблено рекомендації по їх використанню при вирішенні конкретних вимірювальних задач.

На основі виконаних автором досліджень, зокрема, було розроблено методику та схему калібрування в абсолютних енергетичних одиницях цифрових відеосистем з багатоелементними приймачами випромінювання.

Основу вимірювальної установки складає дифузний випромінювач змінної яскравості [2], що одночасно виконує роль вторинного еталону яскравості. Перенос одиниці яскравості здійснюється за допомогою люксметра-яскравоміра ТЕС 0693 української фірми "Тензор". Як показали дослідження, похибка калібрування на установці не перевищує 7%.

Результати роботи будуть корисні спеціалістам з розробки та експлуатації прецизійного фотометричного обладнання.

Ключові слова: прецизійна фотометрія, оптичні еталони.

**Література:**

1. Купко А. Д., Назаренко Л. А. Метрологическое обеспечение световых измерений на Украине // Светотехника. – 2001. – N5 – с. 38-40.
2. Михеенко Л. А., Боровицький В. Н. Излучатель переменной яркости на основе сопряженных интегрирующих сфер // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2006. – N6 – с.61-64.

УДК 535.417:621.791.725

# МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ М-ОБРАЗНОГО КОЛЬЦЕВОГО СВЕТОВОГО ПУЧКА ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ

*Рыжевич А.А., Солоневич С.В., Смирнов А.Г., Институт физики им. Б.И.Степанова НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь*

Предложен и экспериментально реализован метод формирования кольцевого светового пучка с М-образным радиальным распределением интенсивности. Оптическая схема метода представлена на рисунке 1.

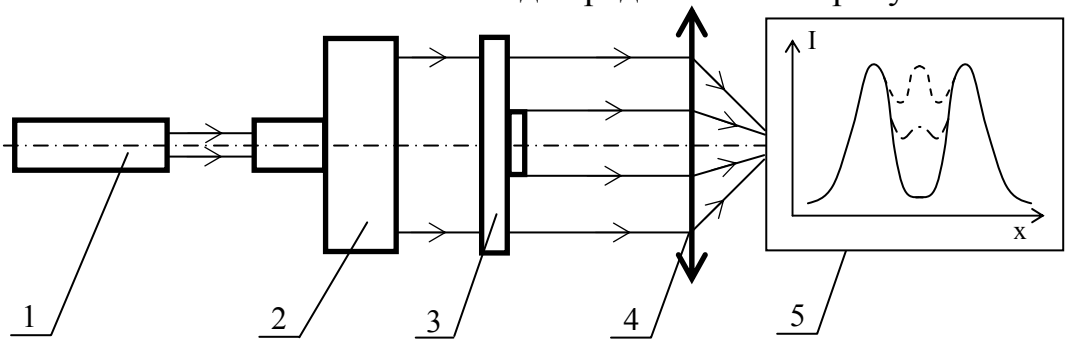


Рис. 1. Оптическая схема для формирования М-образного светового поля: 1 – лазер, 2 – телескоп, 3 – пластина с цилиндрической ступенькой, 4 – фокусирующий объектив, 5 – распределение интенсивности по диаметру пучка вблизи фокусной плоскости объектива 4.

Ступенчатое изменение толщины специального оптического элемента 3 обеспечивает формирование двух аксиально-симметричных соосных областей светового пучка, сдвинутых по фазе относительно друг друга на величину, выбираемую в диапазоне от $0{,}756\pi$ до $\pi$. При последующей фокусировке на оси пучка вблизи фокусной плоскости объектива 4 за счет интерференции образуется провал в распределении интенсивности, при этом основная часть энергии пучка концентрируется в первом от оси кольце, а остаток энергии перераспределяется в слабые дополнительные кольца. Интенсивность на оси пучка вблизи начального положения фокусной плоскости объектива можно варьировать от минимальной до максимальной величины либо выбором толщины ступеньки, обеспечивающей необходимый сдвиг фазы, либо продольным перемещением объектива. Нулевая интенсивность на оси пучка достижима только при сдвиге фазы на $\pi$. При этом суммарные энергии частей пучка с противоположными фазами должны быть одинаковыми.

М-образные кольцевые световые пучки могут успешно применяться для лазерной сварки металлов. Наличие провала в центре поперечного распределения интенсивности пучка существенно уменьшает вероятность прожига в центре сварного пятна при сварке металлических деталей, осуществляемой как встык, так и внахлест.

Ключевые слова: лазерная сварка металлов, кольцевой световой пучок.

УДК 535:530.182

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОГО ДЕФЛЕКТОРА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ МИКРОЧАСТИЦ

*Рыжевич А.А., Солоневич С.В., Мащенко А.Г., Институт физики им. Б.И.Степанова НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь*

Градиентные световые поля, имеющие периодическую структуру, могут применяться для создания динамической периодической структуры и для транспортировки микрочастиц. Предложен и экспериментально реализован метод формирования динамического градиентного светового поля на основе электрооптического дефлектора с возможностью управления движением полос интенсивности. Функциональная схема метода представлена на рисунке 1.

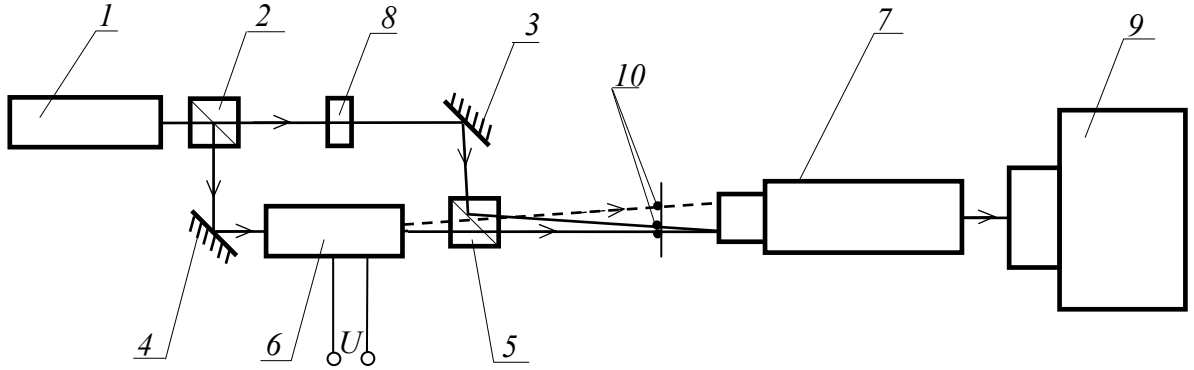


Рис. 1. Функциональная схема метода формирования динамического градиентного светового поля: 1 – лазер; 2, 5 – делительные кубики; 3, 4 – зеркала; 6 – электрооптический дефлектор; 7 –микроскоп; 8 – светофильтр; 9 – CCD-камера; 10 – транспортируемые микрочастицы в кювете с жидкостью.

В результате интерференции заклоняемого и неподвижного пучков формируется высокоградиентное световое поле в виде набора параллельных интерференционных полос. При изменении напряжения $U$ на электрооптическом дефлекторе происходит управляемый сдвиг высокоградиентных полос интерференционной картины из-за изменения угла отклонения пучка, проходящего через электрооптический дефлектор, в результате чего взвешенные в жидкой среде микрочастицы, втягиваясь в области максимумов интенсивности светового поля, перемещаются вслед за движением интерференционных полос. Для этого период интерференционной полосы получаемого градиентного поля должен немного превышать диаметр микрочастиц.

Предложенный метод может быть использован в микро- и нанотехнологиях для транспортировки и фильтрации микрочастиц по принципу "оптического невода".

Ключевые слова: транспортировка микрочастиц, электрооптический дефлектор, динамическое градиентное световое поле.

УДК 535.3 (681.784)

# МЕТОДЫ КОМПЕНСАЦИИ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИЙ НА КАЧЕСТВО ИЗОБРАЖЕНИЯ

*Булавин А.В., Колобродов В.Г., Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина*

Одним из основных факторов, которые ухудшают работоспособность оптико-электронных систем наблюдения, являются вибрации. Вибрации, в общем случаи, это любые перемещения изображения на приемнике излучения (ПИ), если эти перемещения не связаны с функциональными особенностями системы. Источником вибраций могут быть как внешние, так и внутренние воздействия, которые отдельно практически не встречаются. Под внутренними воздействиями подразумеваются колебательные или поступательные воздействия, которые создаются аппаратными средствами, сопряженными с рассматриваемыми системами. Зачастую, для компенсации такого рода возмущений используются гиростабилизированные системы. Под внешними воздействиями, создающими вибрации, подразумеваются любые факторы, которые вызывают движения изображения на ПИ. Существует несколько разновидностей движения, в основном они имеют гармонический, дискретный или хаотический характер. Компенсация хаотических движений является сложной, а иногда и неразрешимой задачей. В нашем случаи были рассмотрены дискретные поступательные и поворотные движения. Степень компенсации вибраций зависит от их частоты, амплитуды и ряда других факторов.

При компенсации вибраций были рассмотрены минимизация регуляризованной функции энергии, путем поиска соответствующих регуляторных коэффициентов, и минимизация регуляризованной функции стоимости, с использованием методов оптимизации градиента снижения и спряженных градиентов. Особенность первого метода заключается в применении комплексирования изображения с изъятием смазывания; второго – в использовании оценочного расчета изображения с высоким разрешением, путем минимизации регуляризованной функции стоимости. Оба метода дают хорошие результаты, если доступны многокадровые изображения сцены наблюдения.

Нами установлено, что получение изображения с высоким разрешением рассматриваемыми методами, требует больших аппаратных и программных ресурсов, большой скорости обработки большого объема данных. Для систем наблюдения, которые работают в реальном масштабе времени и требуют высокой частоты кадров, это условие практически невыполнимо. При практическом применении методов следует вводить ограничения, которые в некоторых случаях являются неприемлемыми.

Ключевые слова: оптико-электронная система наблюдения, вибрации, качество изображения.

УДК 681.7.013.8

# ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ТА МЕТОДИКА ЮСТУВАННЯ ДЗЕРКАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПОВОРОТУ ЗОБРАЖЕННЯ

*Кучеренко О.К., Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна*

При проектуванні приладів та стендової апаратури може виникнути проблема розробки дзеркальної оптичної системи повороту зображення. Така задача виникає, наприклад, при проектуванні вимірювального стенда для визначення оптичної передавальної функції (ОПФ) інфрачервоних об'єктивів. Дослідження на стенді треба проводити в двох взаємно перпендикулярних площинах: меридіональній та сагітальній. При цьому необхідно розташовувати тест-об'єкт у тих самих площинах. Для опромінення тест об'єкта найбільш придатним конструкторським рішенням є поворот зображення глобара за допомогою дзеркальної системи. Використання для цієї цілі скляних призм ускладнене у зв'язку із специфікою спектрального діапазону, який знаходиться в області довжин хвиль 8-14мкм.

Вузол розвороту зображення глобара повинен містити три дзеркала, хід променів у яких аналогічний ходу променів у призмі Аббе. Основними первинними похибками вузла є колімаційна похибка, що обумовлена не точністю базування головного дзеркала, та непаралельність вісі обертання дзеркальної системи до оптичної вісі опромінюючої тест-об'єкт системи.

Дослідження за допомогою матричного метода показали, що при наявності вказаних двох похибок зображення глобара в площині тест-об'єкта буде обертатись по траєкторії близький до кривої , що має назву улітки Паскаля. Отримані аналітичні вирази дозволили сформулювати вимоги до припустимих значень первинних похибок базування дзеркальної обертаючої системи. При розрахунках враховувався припустимий зсув зображення глобара відносно тест-об'єкта, обумовлений нерівномірністю опромінення.

Проведений аналіз дозволив запропонувати раціональну методику компенсації вказаних похибок шляхом незалежного юстування головного дзеркала та вісі обертання всієї дзеркальної системи. Враховуючи те, що всі елементи опромінюючої системи є дзеркальними, юстування треба проводити за допомогою освітлювача, який випромінює у видимій частині спектру. Методика юстування базується на тому, що кожна з вказаних похибок спричиняє поворот зображення глобара на кути, які відрізняються у два рази.

Ключові слова: дзеркальна обертаюча система, оптична передавальна функція, точність, юстування.

УДК 623.4.052

# ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ МАТРИЦА ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СО СПЕЦИАЛЬНОЙ ТОПОЛОГИЕЙ МЕЖСОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

*Воронько А.А., Москаленко М.А., Потапова Г.К., Туровский А.А., Научно-производственный концерн «НАУКА», Государственный научно-исследовательский центр «Фонон», г. Киев, Украина*

Предложены способ определения угловых координат источника оптического излучения и реализующая этот способ позиционно-чувствительная матрица фоточувствительных элементов со специальной топологией их межсоединений. Предполагается, что использование предлагаемых способа и топологии межсоединений фоточувствительных элементов матрицы позволит увеличить ширину зоны захвата оптического координатора АСМ при более высокой точности определения угловых координат источника излучения.

Для определения координат центра светового пятна на позиционно-чувствительной матрице необходимо и достаточно отыскать правило преобразования сигналов с выходов с предлагаемой топологией межсоединений фоточувствительных элементов матрицы в координаты светового пятна на матрице.

Для отыскания этого правила методом математического моделирования получены зависимости выходных сигналов строк и столбцов матрицы с предлагаемой топологией межсоединений от координат центра светового пятна на такой матрице. Аппроксимацией этих зависимостей степенными полиномами (аргументами которых являются координаты светового пятна на матрице) получены правила преобразования координат положения центра светового пятна на матрице в сигналы на выходах матрицы с предлагаемой топологией межсоединений фоточувствительных элементов:

$$Frow(x,y) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\left(A_{i,j}\cdot x^{i-1}\cdot y^{j-1}\right)$$

$$Fcol(x,y) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\left(A_{i,j}\cdot x^{i-1}\cdot y^{j-1}\right)$$

Приведены зависимости выходных сигналов позиционно-чувствительной матрицы с предлагаемой топологией межсоединений от координат центра светового пятна при разных значениях диаметра светового пятна и технологических промежутков между фоточувствительными элементами матрицы при нормальном и типичным для пятна от расфокусированого луча равномерном распределении освещенности в пятне.

Выполнен анализ этих зависимостей, сформулированы требования к информативным параметрам - аргументам функций преобразования сигналов с выходов такой матрицы в координаты центра светового пятна на ней.

Предложены информативные параметры, формируемые по сигналам из выходов матрицы с предлагаемой топологией межсоединений фоточувствительных элементов, которые удовлетворяют этим требованиям.

Приведены зависимости этих информативных параметров от координат центра светового пятна на предлагаемой матрице.

Аппроксимацией зависимостей координат центра светового пятна на матрице от предлагаемых информативных параметров найдены правила преобразования информативных в координаты центра светового пятна на матрице:

$$x = f(Fcol, Frow)$$

$$y = f(Fcol, Frow)$$

Предложена методика и разработан алгоритм определения координат центра светового пятна на матрице по этим информативными параметрами. Разработаны методика, алгоритм и программа расчета точности определения координат светового пятна на предлагаемой матрице.

Разработаны схемы интерфейса и вычислителя для реализации предложенного алгоритма определения положения центра светового пятна на матрице.

Ключевые слова: матрица, алгоритм определения светового пятна

УДК 535. 21

## ФУНКЦІЯ РОЗСІЮВАННЯ ЛІНІЇ І МОДУЛЯЦІЙНА ПЕРЕДАВАЛЬНА ФУНКЦІЯ ТЕПЛОВІЗОРА ПРИ НАЯВНОСТІ ВИСОКОЧАСТОТНИХ ВІБРАЦІЙ

*Лихоліт М.І., Казенне підприємство «Центральне конструкторське бюро «Арсенал», м. Київ, Україна*

Більшість тепловізорів встановлена на рухомих об'єктах, в яких завжди присутні вібрації, обумовлені працюючим двигуном. В цьому випадку оператор буде спостерігати зображення, спотворене вібраціями. Для моделювання впливу вібрацій на якість зображення, використовують функцію змазування, яку представляють у вигляді функції розсіювання лінії (ФРЛ) $LSF_v(x')$ або модуляційної передавальної функції (МПФ) $M_v(\nu_x)$.

Нами була розроблена методика розрахунку функцій $LSF_v(x')$ і $M_v(\nu_x)$ для високочастотних вібрацій, які спричиняють зміщення зображення об'єкта по поверхні матричного приймача випромінювання (МПВ) по закону

$$x'(t) = X_{0v} \sin\left(\frac{2\pi t}{T_{0v}}\right), \qquad (1)$$

де $X_{0v}$ $T_{0v}$ – амплітуда і часовий період синусоїдального зміщення відповідно.

ФРЛ було визначено, як вихідний сигнал МПВ, обумовлений рухом зображення лінії по закону (1). Враховуючи інтегруючи властивості МПВ було отримано аналітичну функцію, яка описує ФРЛ за умов високочастотних вібрацій

$$LSF_v(x') = \begin{cases} \dfrac{1}{\pi\sqrt{X_{0v}^2 - x'^2}}, & \text{коли } |x'| < X_{0v}; \\ 0, & \text{коли } |x'| \geq X_{0v}. \end{cases} \qquad (2)$$

Розв'язуючи інтегральне рівняння оберненого перетворення Фур'є була отримана МПФ, яка характеризує високочастотні вібрації

$$M_v(\nu_x) = J_0(2\pi X_{0v}\nu_x). \qquad (3)$$

За результатами вимірювань параметрів вібрації за допомогою відповідних датчиків або цифрової обробки спотворених зображень можна розрахувати МПФ вібрацій (3) і використати її для поновлення зображення, спотвореного вібраціями. Для цього використовується такий алгоритм

$$\widetilde{L}_i(\nu_x,\nu_y) = L_{iv}(\nu_x,\nu_y)/M_v(\nu_x), \qquad (4)$$

де $\widetilde{L}_i(\nu_x,\nu_y)$ $\widetilde{L}_{iv}(\nu_x,\nu_y)$ – просторові спектри відновленого і спотвореного зображень відповідно.

Ключові слова: тепловізор, вібрації, модуляційна передавальна функція.

УДК 621.373 (043.2)

## РАЗРАБОТКА МАЛОГАБАРИТНЫХ ЛАЗЕРОВ

*[1)]Жуковский В.В., [1)]Леоненя М.С., [1)]Манак И.С., [2)]Некрашевич Я.И., [1)]Белорусский государственный университет; [2)] Институт физики им. Б.И.Степанова НАН Беларуси, г.Минск, Беларусь*

В настоящее время значительное внимание уделяется созданию компактных лазеров с диодной накачкой.

В данной работе приведены результаты исследований компактных лазеров с планарной геометрией активного элемента и многопроходным резонатором, образованным двумя ограничивающими сбоку активную среду протяженными глухими зеркалами, наклоненными друг к другу под углом α, и расположенным под углом φ к одному из них полупрозрачным выходным зеркалом. Излучение распространяется в активной среде, попеременно отражаясь от каждого из боковых зеркал. После $N$ отражений ($N = 1 + \varphi/\alpha$) угол падения будет равен нулю – произойдет обратное распространение излучения.

Рассмотрена также конструкция лазера с активным элементом, выполненным в виде трехгранной пирамиды переменного сечения с прямым углом между двумя смежными гранями. Выходное зеркало образует угол φ, а одна из граней – угол α с ребром пересечения этих граней. В отличие от планарного лазера, в предлагаемой конструкции излучение распространяется во

взаимно ортогональных плоскостях, отражаясь от граней активной среды. Варьируя углы φ и α, можно изменять число проходов *N*; при этом полная длина пути *L* одного прохода луча по такому резонатору, будет намного превышать рабочую длину *l* активной среды. Это приводит к более полному использованию энергии, накопленной внутри твердотельного активного элемента, и повышению компактности лазеров, а также позволяет использовать активные вещества с малыми коэффициентами усиления и интенсивностью насыщения. Заметим, что, несмотря на сильно отличающуюся в этом случае геометрию активного элемента, полная длина пути луча в активной среде практически совпадает с рассмотренным чисто планарным случаем. Можно, однако, ожидать, что предлагаемая геометрия активного элемента позволит заметно снизить влияние термических напряжений, что особенно существенно при создании лазеров повышенной мощности.

Для управления спектральными, временными и энергетическими характеристиками излучения малогабаритных лазеров предложены конструкции с выносным полупрозрачным зеркалом, что позволяет разместить в резонаторе модуляторы добротности, диспергирующие элементы, преобразователи частоты излучения и др.

Ключевые слова: малогабаритный лазер, резонатор, планарная геометрия, активная среда, трехгранная пирамида, выносное зеркало.

УДК 621.375

## О ПОВЫШЕНИИ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ГАЗОВЫХ КОМПОНЕНТ, СПЕКТРЫ КОТОРЫХ ПЕРЕКРЫВАЮТСЯ

*Козлов В. Л. , Кугейко М.М., Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь*

Наиболее точные и оперативные из бесконтактных методов контроля за состоянием окружающей среды – это оптико-электронные методы, основанные на регистрации оптического излучения в центре линии поглощения и вне нее. Ширина спектральных линий поглощения различных газов составляет величину в доли и единицы нанометров, поэтому для контроля любого газа имеется возможность выбрать длины волн генерации лазера таким образом, чтобы одна длина волны находилась в центре полосы поглощения контролируемого газа, а другая вне полосы поглощения. Однако при анализе химических компонент, чьи спектры поглощения перекрываются, возникает задача разработки методов повышения чувствительности и селективности оптико-электронных газоаналитических средств.

В условиях земной атмосферы форма контура спектральной линии поглощения газа определяется процессами радиационного затухания, эффектом Доплера и эффектами столкновений молекул [1]. Радиационное или естественное уширение обусловлено взаимодействием квантовой системы с

нулевыми колебаниями электромагнитного поля и его величина пренебрежимо мала по сравнению с двумя другими эффектами. Доплеровское уширение обусловлено движением молекул и при максвеловском распределении скоростей, контур уширенных линий имеет гауссовский вид. Для описания столкновительного уширения спектральных линий в видимой и ИК–областях спектра используется теория Лоренца, и вид контура уширения получил название дисперсионный. Совместное рассмотрение двух эффектов уширения спектральных линий приводит к выражению профиля коэффициента поглощения, получившего название профиля Фойгта.

Для повышения чувствительности и селективности трассовых измерений концентрации газовых компонент, чьи спектры поглощения перекрываются, необходим учет не только спектрального положения линии поглощения, но и формы контура линии поглощения. В качестве источника излучения целесообразно использовать полупроводниковые лазерные диоды, обеспечивающие генерацию на нескольких оптических длинах волн и позволяющие перестраивать длины волн генерации путем изменения тока инжекции.

Ключевые слова: концентрация газовых компонент, чувствительность, селективность

**Литература**

1. Зуев В.Е., Зуев В.В. Дистанционное оптическое зондирование атмосферы. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 232 с.

УДК 621. 382

## КОНЦЕПЦИЯ БЕЗАПРИОРНОСТИ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА МНОГОВОЛНОВЫХ ЛАЗЕРАХ

*Козлов В. Л. , Кугейко М.М., Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь*

Разработка и создание конкурентно способных на рынке наукоемких технологий информационно-измерительных и диагностических систем требует придания им новых свойств, позволяющих улучшить точностные, эксплуатационные, габаритные и стоимостные характеристики. Для решения этой задачи необходимо использование новых подходов, принципов и функциональных элементов.

Одним из путей решения задачи улучшения параметров лазерных диагностических систем является использование новых типов источников зондирующего излучения. Появление в конце XX в. полупроводниковых лазеров, обеспечивающих генерацию излучения на нескольких различных оптических длинах волн, дает широкие возможности для создания высокоэффективных многоволновых лазерных измерительных и диагнос-

тических систем нового типа, обеспечивающих существенные преимущества перед аналогичными измерительными системами.

Другой принципиальный подход в улучшении параметров таких систем заключается в создании теории и методов диагностики, максимально исключающих использование априорной информации или допущений об исследуемом объекте, исключающих или минимизирующих влияние измерительных трактов [1]. Данный подход является принципиально новым, поскольку снимает проблему априорной неопределенности и облегчает калибровочные измерения. Задача определения характеристик различных физических объектов и сред по косвенной измерительной информации практически всегда является многопараметрической и часто некорректной обратной задачей, что вызывает значительные сложности при ее решении. Развитие и реализация концепции "безаприорности" для систем оптико-физической диагностики основе многоволновых инжекционных лазеров позволит разработать новые методы и создать на их основе новое поколение измерительной аппаратуры, максимально устойчивой к дестабилизирующим факторам, со значительно более высокими точностными и эксплуатационными характеристиками, чем известные многочастотные измерители, использующие несколько различных лазерных источников зондирующего излучения.

Ключевые слова: многоволновой лазер, концепции "безаприорности".

**Литература**

1. Кугейко М.М. Лазерные системы (в условиях априорной неопределенности), Мн.:БГУ, 1999,196 с).

УДК 628.975.629.062.7

# ИНДИКАТОР ГЛИССАДЫ ДЛЯ ВЕРТОДРОМОВ НА БАЗЕ СВЕТОДИОДНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

*Лиждвой А.Е., Слободянюк Т.А., Степаненко В.В., ГП НИИ «Квант», г.Киев, Украина*

Тенденции современного развития авиации требуют обеспечения безопасности полетов в любых погодных условиях. Деятельность ИКАО направлена на совершенствование средств обеспечения посадки, в числе которых одно из важнейших мест принадлежит светосигнальному оборудованию, в частности, системам визуального указания глиссады планирования. Глиссадные системы предназначаются для ообеспечения летчиков необходимой визуальной информацией о нахождении вертолета относительно глиссады с целью своевременного принятия решения на ответственном этапе полета – заходе на посадку. Системы позволяют точно выдержать требуемую глиссаду вплоть до точки приземления.

Существующие индикаторы глиссады строятся, как правило, на базе галогенных ламповых излучателей, имеющих ряд недостатков: большие

габариты, большое энергопотребление, сравнительно небольшой ресурс работы.

В настоящее время все большую популярность завоевывают мощные светодиоды. Выбор светодиодов в качестве излучателей обусловлен следующими факторами: долговечностью и надежностью, низким энергопотреблением, высоким КПД, малым нагревом, отказом от светофильтров.

В ГП НИИ «Квант» проведены исследования по созданию индикатора глиссады на базе мощных светодиодов, выпускаемых компанией Edison Opto Corporation.

Принцип построения индикатора глиссады основан на использовании определенной структуры световых пучков, объединяемых в систему 3-х цветов: желтого, зеленого, красного.

Нижний огонь – красный, свидетельствующий об опасности снижения вертолета относительно глиссады. Средний огонь – зеленый с углом наклона, соответствующий углу оптимальной глиссады. Верхний огонь – желтый, оповещающий пилота о необходимости снижения вертолета.

Индикатор глиссады включает в себя 48 светодиодов для каждого цвета, суммарная сила света на выходе по группам излучателей составляет:

$I_{жел.}$ = 30500кд, $I_{зел.}$ = 31000 кд, $I_{кр.}$ = 20900 кд.

Проведенные числовые расчеты показали, что предлагаемый индикатор глиссады на базе светодиодных излучателей, гарантирует безопасность визуальной посадки на дистанциях 4 км, ночью, при МДВ =50 км , 1,5 км ночью и 1 км днем при МДВ=0,8 км.

Ключевые слова: индикатор глиссады, светодиоды.

УДК 621.384; 621.398

## ВИМІРЮВАНЯ МІНІМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ/ШУМ В ТЕЛЕВІЗІЙНИХ І ТЕПЛОВІЗІЙНИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО СУПРОВОДЖЕННЯ

*Русняк І.М., ДП НДІ "Квант", м. Київ, Україна*

Експериментальне визначення відношення сигнал/шум (SNR) в сигналі об'єкта для телевізійних і тепловізійних систем автоматичного супроводження (ТСАС) має здійснюватись при роботі цих систем в основному режимі їх функціонування, а саме в режимі автоматичного супроводження об'єктів. Важливою кількісною характеристикою роботи ТСАС в цьому режимі є ймовірність зриву супроводження $P_{зр}(t_{сп})$ об'єкта за час супроводження $t_{сп}$. Вимірювання SNR у випадку складного сигналу базується на візуальному визначенні на екрані осцилографа амплітуди сигналу об'єкта і амплітуди шумів (з урахуванням "правила трьох сигма") і проводиться шляхом поступового

ослаблення потоку випромінювання від об'єкта на вході ТСАС до тих пір, поки ймовірність $P_{зр}(t_{сп})$ не перевищить задану величину. Отже, ймовірність $P_{зр}(t_{сп})$ також підлягає вимірюванню з метою її поточного контролю. Проте ймовірність $P_{зр}(t_{сп})$ прямому експериментальному визначенню не піддається.

В роботі запропоновано і обґрунтовано методику вимірювань SNR на основі оцінки ймовірності $P_{зр}(t_{сп})$ по результатам вимірювань частоти зривів супроводження $p_{зр}$, приведеної до часу супроводження $t_{сп}$. Частота визначається через кількість зривів супроводження $n_{зр}$ за час вимірювань $t_{вим}$ і складає $p_{зр} = \frac{n_{зр}\, t_{сп}}{t_{вим}} = \frac{n_{зр}\, t_{сп}}{N_{виб}\, T}$, де $N_{виб}$ – кількість напівкадрів, яка складає об'єм вибірки вимірювань, T = 20 мс – тривалість одного напівкадра. Величина $n_{зр}$ представляє собою число сеансів вимірювань кількості напівкадрів $n_i$ з моменту взяття об'єкта на автоматичне супроводження і до моменту зриву супроводження в кожному сеансі за умови, що загальна кількість напівкадрів $\sum_i n_i \ge N_{виб}$. Мінімально необхідний об'єм вибірки $N_{виб}$ для статистики нормального розподілу частоти $p_{зр}$ має задовольняти умові $N_{виб}\, P_{зр}(t_{сп}) \frac{T}{t_{сп}} \ge 4$.

Експериментальний характер визначення частоти $p_{зр}$ обумовлює необхідність врахування вимог до довірчого інтервалу і довірчої ймовірності. Методика врахування цього впливу загальновідома.

На базі розглянутих методик запропоновано стенд для проведення вимірювань SNR в сигналі об'кта для ТСАС.

Ключові слова: відношення сигнал/шум, ймовірність зриву супроводження.

УДК 621.384.326

## ЗНАХОДЖЕННЯ ВІДСТАНІ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ІЧ ЛОКАТОРАМИ КРУГОВОГО ОГЛЯДУ ГРАФОАНАЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ

*Нога Н.М., Стефанович В.Т., Трандаш М.М., ДП НДІ «Квант», м. Київ, Україна*

Пасивні інфрачервоні локатори кругового огляду посідають важливе місце в сучасних оптичноелектронних системах розвідки та виявлення, забезпечуючи висвітлення навколишньої обстановки шляхом реєстрації власного теплового випромінювання об'єктів і фонів. Зазвичай ІЧ локатори працюють в автоматичному режимі, а їх основною характеристикою є максимальна відстань виявлення об'єктів MDD – максимальна відстань d між системою і об'єктом, при якій забезпечуються задане відношення сигнал/шум $SNR_d$ і, відповідно, ймовірність виявлення $P_d$.

Існує велика кількість методик розрахунку MDD. В загальному випадку для тепловізійних систем знаходження MDD зводиться до розв'язання трансцендентних рівнянь з параметрами об'єкта, атмосфери, оптичного та електронних трактів [1]. На практиці доцільно розділити параметри, пов'язані з характеристиками об'єкта, атмосфери та технічними характеристиками ІЧ системи, що дозволяє досліджувати вплив на MDD та оптимізувати вибір характеристик ІЧ системи. MDD знаходимо з рівняння $\Delta E_{et}^{p}(d) = NEI^{*}$, де $\Delta E_{et}^{p}(d) = \frac{1}{d^2}\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Delta I_{et}(\lambda)\cdot\tau_A(\lambda,d)\cdot\overline{\tau_o}(\lambda)\cdot\overline{r_D}(\lambda)d\lambda$ – контрастна енергетична освітленість, яку створює об'єкт у площині вхідної зіниці ІЧ локатора, $\Delta I_{et}(\lambda)$ – контрастна енергетична сила світла об'єкта, $\tau_A(\lambda,d)$ – спектральне пропускання атмосферної траси, $\overline{\tau_o}(\lambda)$ – відносне спектральне пропускання оптичної системи, $\overline{r_D}(\lambda)$ – відносна спектральна чутливість ІЧ детектора; $NEI^{*} = SNR_d \cdot \frac{\sqrt{A_d \cdot \Delta f}}{\tau_{om}\cdot A_o \cdot D_m^{*}}$ – освітленість вхідної зіниці, яка забезпечує задане відношення сигнал/шум $SNR_d$, $\tau_{om}$ – коефіцієнт пропускання оптичної системи в $\lambda_{max}$, $A_o$ – площа вхідної зіниці, $A_d$ – площа чутливого елемента ІЧ детектора, $D_m^{*}$ – питома виявлювана здатність ІЧ детектора в $\lambda_{max}$, $\Delta f$ – ефективна шумова смуга електронного тракту.

Рівняння розв'язується графоаналітичним методом, а саме побудовою кривої $\Delta E_{et}^{p}(d)$ та прямої $NEI^{*}$.

Ключові слова: інфрачервоний локатор, відстань виявлення.

**Література**

1. Колобродов В.Г. Методика розрахунку відстані дії тепловізійної системи. // Наукові вісті НТУУ «КПІ», – 2000, № 1, с. 79-83.

УДК 621.384.326

## ВИЯВЛЕННЯ ПРОТИКОРАБЕЛЬНИХ РАКЕТ ІЧ ЛОКАТОРАМИ

*Нога Н.М., Стефанович В.Т., Трандаш М.М., ДП НДІ «Квант», м. Київ, Україна*

Виявлення засобів повітряного нападу радіолокаційними системами не завжди ефективне. В першу чергу це стосується виявлення протикорабельних крилатих ракет (ПКР), що низько летять над поверхнею моря (3…5м) і складають основну загрозу для надводних кораблів. В таких випадках функції висвітлення повітряної обстановки можуть бути покладені на пасивні інфрачервоні локатори кругового огляду.

Авторами розрахована контрастна енергетична освітленість, створювана ПКР Harpoon, Exocet, Maverick, Tomahawk, Яхонт та ін. у вхідній зіниці ІЧ

локатора за рахунок аеродинамічного нагріву при польоті. Одержані результати дають можливість визначити максимальну відстань виявлення ПКР – MDD за методикою, запропонованою авторами в попередній роботі.

Як приклад, розглянемо виявлення ПКР Maverick локатором, побудованим на базі ІЧ приймача 288×4 LWIR фірми Sofradir (використовується в системах Vampir, Франція; Фенікс, Росія). Розрахунок проводимо при параметрах оптики $\tau_{om} = 0{,}8$, $A_o = 120$мм; $SNR_d = 5$, швидкості огляду 360 град/сек. Умови проходження атмосфери згідно стандарту NATO4347: хороші $\delta = 0{,}2$км$^{-1}$ (крива 1) та обмежені $\delta = 1$км$^{-1}$ (крива 2). Згідно [1] маємо $NEI^* = 1{,}2 \cdot 10^{-13}$ Вт/см$^2$ (пряма 3).

Як видно з приведеного рисунку, розглянутим ІЧ локатором ПКР Maverick виявляється на відстанях 12…4 км в залежності від атмосферних умов.

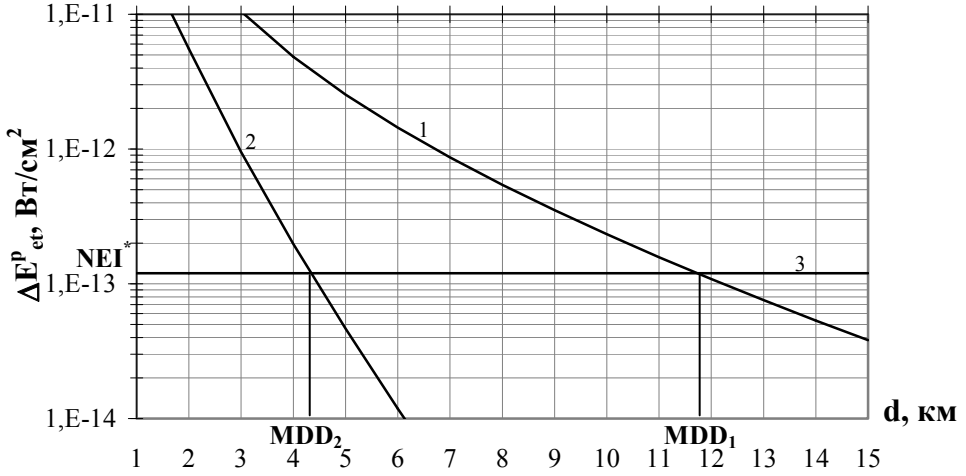


Рис.1 Знаходження максимальної відстані виявлення ПКР Maverick графоаналітичним методом

Ключові слова: інфрачервоний локатор, відстань виявлення.

УДК 535.3 (681.784)

## ОПТИЧНІ СХЕМИ ТЕПЛОВІЗОРА «ARSOF»

*Лихоліт М.І., Варьонова А.Л., Вовк І.В., Кузнєцов В.М., Петриченко А.М., Полежаєв В.В., Феоктістова Г.М., КП «ЦКБ» «Арсенал», м. Київ, Україна*

Розглянута можливість побудови оптичних схем тепловізора із використанням фотоприймачів, виготовлених фірмою Sofradir (Франція). Один із фотоприймачів PLUTON LWRM2 має топологію 288x4 елемента, інший – MERCURY NG480x6LW – 460x6 елементів, чутливих в області спектра від 7,7 до 10,3 мкм.

В процесі роботи для кожного із приймачів був проведений попередній габаритний розрахунок тепловізора для режиму малого поля. Результати показали, що оптична система з використанням фотоприймача MERCURY NG480x6LW буде мати збільшені габарити, що ускладнить розташування системи на об'єкті, а оптична система з фотоприймачем PLUTON LWRM2 дозволяє реалізувати оптичну схему з необхідними габаритами і відносним отвором.

Розроблені оптичні схеми тепловізора мають змінне поле зору 2x3° та 6x9°, що забезпечено переміщенням одного компонента вздовж оптичної осі об'єктива. Формування кадру зображення забезпечується лінійними фотоприймачами, які орієнтовані вздовж великої сторони поля зору, і скануванням дзеркала вздовж меншої сторони.

Розрахункові значення ФПМ оптичної схеми з фотоприймачем PLUTON LWRM2 на частоті Найквіста 20 лін/мм в центрі поля – 0.56, на краю поля – 0.46, що лише на 5% менше дифракційної межі.

Добра чутливість тепловізора і невеликі габарити очікуються завдяки оптичній схемі, яка має відносний отвір 1:1,68 при діаметрі першої лінзи 90 мм.

Спроектований об'єктив із використанням у ньому дифракційних елементів має зменшені габарити і значно спрощений за рахунок того, що в системі зменшена кількість оптичних елементів з асферичними поверхнями вищих порядків.

Ключові слова: інфрачервоний, дискретний, об'єктив, тепловізор

УДК 681.7.069.21

# ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СХЕМ ОСВІТЛЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ МІКРОСКОПА ЗІ СВІТЛОДІОДНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ВИПРОМІНЮВАННЯ

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

В більшості сучасних оптичних мікроскопів використовується освітлювальна система побудована за методом Келера. В якості джерела випромінювання в цій системі використовується лампа розжарення (галогенна лампа). Лампа розжарення має ряд недоліків: низький коефіцієнт корисної дії, що зумовлює велике електроспоживання, малий термін дії, зміна характеристик випромінювання з часом (деградація параметрів) та ін. Сучасні світлодіоди мають ряд переваг порівняно з лампами розжарення – великий термін дії, сталі характеристики випромінювання, економічність, великий коефіцієнт корисної дії. В останні декілька років з'явились світлодіоди та їх збірки, які мають потужний потік випромінювання та можуть конкурувати з лампами розжарення.

У роботі представлений порівняльний аналіз освітлювальних систем оптичних мікроскопів, у яких можуть бути використанні світлодіодні джерела випромінювання. По результатам порівняльного аналізу запропоновані оптичні схеми освітлювальних систем, що забезпечують найбільшу однорідність освітлення при великому коефіцієнті використання потоку випромінювання. Також представлений математичний апарат для розрахунку оптимальних параметрів та рекомендації щодо конструювання освітлювальних систем зі світлодіодними джерелами випромінювання.

Ключові слова: оптичний мікроскоп, освітлювальна система, освітлення за Келером, світлодіод, рівномірність освітлення.

УДК 681.784.83, PACS 07.60.Pb

## ВЛИЯНИЕ КОГЕРЕНТНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ВЫСОКОАПЕРТУРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ МИКРОСКОПА

*Боровицкий В.Н., Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина*

В работе предложен математический аппарат для вычисления трехмерного пространственного распределения интенсивности, которое формируется высокоапертурной оптической системой микроскопа. Этот математический аппарат позволяет исследовать дифракционные явления в трехмерном пространстве с учетом влияния частичной временной и пространственной когерентности, больших углов наклона лучей, заданного наклона плоскости матричного фотоприемника.

В работе представлены результаты вычислений трехмерного пространственного распределения интенсивности в изображениях точечных и близкорасположенных двух точечных источников излучения, которые сформированы типовыми микрообъективами оптических микроскопов.

Также выполнен сравнительный анализ распределений интенсивности, которые созданы оптическими системами с малой и большой числовой апертурой. Доказано, что известные формулы для расчета когерентных и некогерентных оптических систем, как в случае большой, так и малой числовой апертуры, являются частными случаями предложенного математического аппарата для описания высокоапертурной частично-когерентной оптической системы.

Ключевые слова: распределение интенсивности, оптическая система, числовая апертура, дифракция, точечный источник, пространственная когерентность, временная когерентность, оптический микроскоп.

УДК 535.2

# ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ, ІНДУКОВАНИХ РОЗСІЯННЯМ БІЛОГО СВІТЛА НА ШОРСТКІЙ ПОВЕРХНІ

*[1)]Чернишов О.О., [1)]Фельде Х.В., [2)]Богатирьова Г.В., [1)]Полянський П.В.,*
*[1)]Чернівецький національний університет, м. Чернівці, Україна, [2)] Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», г. Київ, Україна*

Розсіяння білого світла на безбарвній помірно шорсткій поверхні супроводжується забарвленням розсіяної вперед (регулярної) компоненти пучка. Цей ефект було інтерпретовано як результат інтерференції парціальних сигналів, які зазнали різних фазових зсувів при проходженні шорсткої поверхні, але залишились принаймні частково когерентними. При цьому, в залежності від параметрів шорсткості, для деяких спектральних компонент реалізуються умови інтерференційного підсилення, а для інших – інтерференційного послаблення. Проте, наявна інтерпретація даного ефекту залишається недостатньою, оскільки передбачає послідовність кольорів регулярної складової при зростанні глибини поверхневих неоднорідностей, котра не співпадає з послідовністю, що спостерігається на практиці. Ця обставина суттєво стримує розвиток застосувань ефекту спектральних перетворень, індукованих розсіянням, зокрема, для діагностики помірно шорстких поверхонь, для яких інші кореляційно-оптичні методи мають обмежену ефективність.

У роботі викладається нова модель помірно шорсткої поверхні як певного перехідного шару із «проміжним» показником заломлення, в рамках якої така поверхня розглядається як просвітлююче покриття для деякої спектральної компоненти зондуючого пучка. Ця модель підтверджується комп'ютерним хромаскопічним моделюванням ефекту забарвлення розсіяної вперед компоненти пучка білого світла.

Представлено також нові експериментальні аргументи на підтримку запропонованої моделі. Продемонстровано залежність забарвлення від нахилу поверхні, показано топограми поверхонь, які призводять до блакитного або червоного спектральних зсувів, й пояснено відсутність зеленого кольору, тобто, блакитній зсув «стрибкоподібно» змінюється червоним, оминаючи зелений колір. Також експериментально обґрунтовано висновок, що ефект спектральних перетворень, індукованих розсіянням, не обмежується режимом однократного розсіяння, а має місце також і при багатократному розсіянні.

В теоретичній частині роботи розглядається декілька типових функцій розподілу поверхневих неоднорідностей по висоті для отримання взаємозв'язку між спостережуваними спектральними перетвореннями та статистичними параметрами шорсткості. Показано, що спектральні зміни, зумовлені розсіянням на помірно шорсткій поверхні, можуть бути використані для її діагностики.

Ключові слова: світлорозсіяння, спектральні зсуви, шорстка поверхня.

УДК 535.2

# НЕЗВИЧАЙНІ ВЕКТОРНІ СИНГУЛЯРНОСТІ В НЕОДНОРІДНО ПОЛЯРИЗОВАНИХ ОПТИЧНИХ ПОЛЯХ

*[1)] Богатирьова Г.В., [2)] Фельде Х.В., [2)] Чернишов О О., [2)]Полянський П. В.,*
*[1] Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна, [2)] Чернівецький національний університет, м. Чернівці, Україна*

Стаціонарне багатократне світлорозсіяння лазерного випромінювання виражається у так званій псевдодеполяризації поля. Це означає, що поле є локально повністю поляризованим із ступенем поляризації, що дорівнює одиниці; вимірювання ж ступеня поляризації по ділянці поля, яка охоплює велику кількість неоднорідностей з різними станами поляризації, дає нульове значення цієї величини. В рамках сингулярної оптики визначаються особливі векторні сингулярності в таких полях. У поперечному перетині поля мають місце, по-перше, $C$ – точки (точки з циркулярною поляризацією й невизначеним азимутом поляризації) й, по-друге, $L$ – лінії (лінії з лінійною поляризацією й невизначеним напрямком обертання вектора напруженості електричного поля). Зазначені векторні сингулярності формують топологічний скелетон неоднорідно поляризованих оптичних полів.

У роботі вводиться модифіковане означення ступеня поляризації, таким чином, щоб дана величина могла набувати як додатних так і від'ємних значень в інтервалі $[-1;+1]$, й представлено новий тип векторних сингулярностей, які виникають у комбінованих оптичних полях особливого виду. Розглядається випадок накладання однорідно поляризованого поля, утвореного при однократному розсіянні лазерного пучка, наприклад на шорсткій поверхні з великими неоднорідностями (спекл-поля), й некогерентного до нього ортогонально поляризованого поля з простим хвильовим фронтом, інтенсивність якого приблизно дорівнює середній інтенсивності спекл-поля. Внаслідок релєївського розподілу амплітуди спекл-поля, спекли або опорна хвиля переважають по інтенсивності на різних ділянках результуючого поля. Такі ділянки відокремлені лініями (контурами), вздовж яких обидва поля однакові за інтенсивністю й, отже, результуюче поле є повністю неполяризованим. Іншими словами, вздовж цих ліній стан поляризації вироджується (є невизначеним). Ці лінії визначаються як $U$ – сингулярності комбінованих оптичних полів. Показано, що $U$ – сингуляр-ності є стійкими до незначних збурень початкових умов або при поширенні комбінованого пучка у турбулентному середовищі. Продемонстровано можливий сценарій перетворень таких сингулярностей при типових перетвореннях конфігурації комбінованого поля.

Обговорюються можливості експериментального виявлення $U$ – сингулярностей, а також їх використання для аналізу складних полів.

Ключові слова: світлорозсіяння, оптичні сингулярності, поляризація

УДК 543.4:53.088.3

# МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ СЛАБКИХ ОПТИЧНИХ СИГНАЛІВ НА ФОНІ ШУМІВ

*Гетьман В., Білий О., Ференсович Я., Гречух Т.З., Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів, Україна*

Визначення вмісту та концентрації частинок у рідинних середовищах проводять шляхом реєстрації розсіяного частинками світла. При цьому частинки реєструють за результатами виявлення сигналу на фоні шумів. Для реєстрації слабких світлових сигналів застосовують фотоелектронні помножувачі у режимі рахунку фотонів. Число фотонів, зареєстрованих за проміжок часу $\tau$ є випадковою величиною, яка розподілена за пуасонівським законом:

$$P(k) = \frac{(\nu\tau)^k}{k!}\exp(-\nu\tau), \qquad (1)$$

де $P(k)$ - ймовірність реєстрації за проміжок часу $\tau$ $k$ фотонів, $\nu$ - середня частота реєстрації фотонів. Виділення сигналу на фоні шумів проводять за методом $m$ з $n$. Сигнал вважають зареєстрованим, якщо відбулося перевищення порогового числа зареєстрованих фотонів $l$ в $m$ інтервалах часу з $n$ послідовних інтервалів. Ймовірність перевищення числа зареєстрованих фотонів за проміжок часу $\tau$ порогового рівня, враховуючи (1), рівна:

$$p = \sum_{k=l+1}^{\infty}\frac{(\nu\tau)^k}{k!}\exp(-\nu\tau) = 1 - \sum_{k=0}^{l}\frac{(\nu\tau)^k}{k!}\exp(-\nu\tau). \qquad (2)$$

Ймовірність реєстрації сигналу методом $m$ з $n$:

$$\rho = C_n^m p^m (1-p)^{n-m} \quad . \qquad (3)$$

Знаходження умов оптимальної реєстрації сигналу від частинок на фоні шумів проведено для відомих: часу перетину частинкою зони реєстрації $T$, середньої частоти реєстрації фотонів для шумового сигналу $\nu_0$, середньої частоти реєстрації фотонів при наявності частинки в освітленій зоні $\nu_s$. Визначаються значення $m$, $n$, $l$, при яких проводиться реєстрація сигналу з максимальною ймовірністю за умови, що ймовірність реєстрації шумового сигналу не перевищує заданого рівня $\rho_{\min}$. Розрахунки проводять за наступною схемою. Визначають з (2) при заданих $n$, $m \le n$, $l$, $\nu_0, \nu_s$ $\tau = \frac{T}{n}$ значення $p_0$ - ймовірність перевищення для шуму, $p_1$ - ймовірність перевищення для сигналу. Для отриманих значень за (3) розраховують $\rho_0$ - ймовірність реєстрації для шуму, $\rho_1$ - ймовірність реєстрації сигналу. Розрахунки проводяться для різних значень $m$ та $l$. Вибирають максимальне значення $\rho_1$ при умові $\rho_0 < \rho_{\min}$.

Визначено оптимальні значеннями для реєстрації сигналу на фоні шумів $m=1$, $n=1$, що враховано при розробці алгоритму роботи пристрою для визначення концентрації мікрочастинок оптичним методом.

Ключові слова: розподіл Пуасона, фотони, мікрочастинка, сигнал, шум.

УДК 535.317.6

## КОМПОЗИЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ИЗ КОНЦЕНТРИЧЕСКИХ ЗЕРКАЛ

*Артюхина Н.К., Володько Н.А., Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь*

За последнее время в оптическом приборостроении в значительной степени выросла роль зеркальных и зеркально-линзовых систем в связи с развитием инфракрасной техники, растровых электронных микроскопов, микроскопов для микроспектрального локального анализа, ультрафиолетовой микроскопии и т.д.

В работе рассмотрены оптические системы из концентрических зеркал с четырьмя отражениями, которые представляют практический интерес в связи с хорошими коррекционными возможностями аберраций. Они отличаются простотой конструкции в сочетании с высокими оптическими характеристиками.

Среди многообразия зеркальных объективов с четырьмя отражениями можно выделить несколько различных групп систем. К первой группе можно отнести системы с разнесенными вершинами зеркальных поверхностей. Ко второй группе относятся системы, состоящие из четырех зеркал с попарно совмещенными вершинами четных и нечетных зеркал.

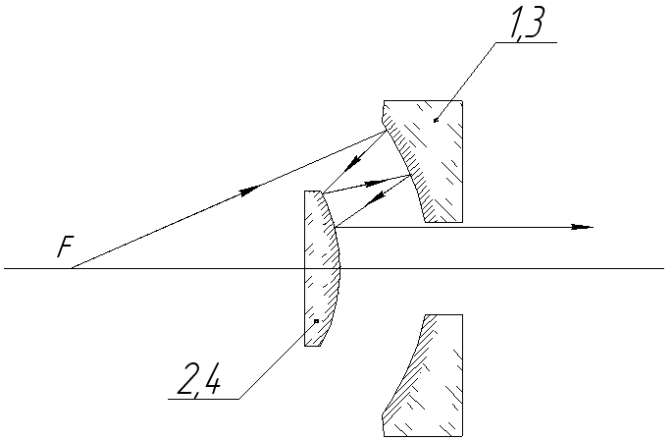


Схема двухзеркального объектива с четырьмя отражениями

Предложенный объектив, оптическая схема которого показана на рисунке, относится к третьей группе зеркальных систем. Он состоит из двух компонентов с двумя отражениями от каждого и формирует изображение в бесконечности.

Применение только двух сферических зеркал значительно упрощает конструкцию объектива, уменьшает его габариты, и вместе с тем двукратное отражение луча от каждой поверхности обеспечивает большее число кор-

рекционных параметров и более широкие возможности для кор рекции аберраций. Достоинством предложенного объектива также является значительный передний отрезок.

В объективе хорошее качество изображения (аберрации внеосевой точки базового варианта не превышает одной минуты). Аберрации высших порядков исправлены оптимизацией.

Рассчитанный объектив представляет практический интерес и может быть использован в ультрафиолетовой микроскопии.

Ключевые слова: аберрация, зеркальный, концентрический, коррекция, микроскопия, объектив, оптимизация.

УДК 621.384.326

## БАГАТОКАНАЛЬНІ ТЕПЛОВІЗІЙНІ ПРИСТРОЇ. ІНФОРМАТИВНІСТЬ КАНАЛІВ ІНФРАЧЕРВОНОГО ДІАПАЗОНА СПЕКТРУ

*Шевчик-Шекера А.В., Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, г. Київ, Україна*

Сучасний стан розробок оптико-електронних приладів дозволяє ставити все більш широкі задачі по розробці багатоканальних приладів, які б допомогли підвищити ефективність роботи людини в різних сферах його діяльності: на виробництві, в медицині, захисті правопорядку, збереженні природних ресурсів та інш.

Одними з таких багатофункціональних пристроїв є тепловізори, які працюють з тепловим випромінюванням об'єктів. Це обумовлено тим, що всі об'єкти, які відрізняються від абсолютного нуля, мають власну температуру. Тепловізори дозволяють виявити об'єкти незалежно від рівня природної освітленості, при низькій прозорості атмосфери (дощ, туман, пил, снігопад), крізь листя та невеликий прошарок настилу, сітки та інш. За таких складних умов, в видимому діапазоні спектру, об'єкти виявити майже неможливо.

Спектр інфрачервоного випромінювання поділяється на канали в залежності від вікон прозорості атмосфери. Кожний з каналів несе певну інформацію про об'єкт спостереження і має свій специфічний характер. Важливим питанням для визначення ефективності використання окремих каналів інфрачервоного діапазону є визначення їх потенційної інформативності.

В роботі наведені розрахунки кількісного та якісного складу інфрачервоного випромінювання для діапазонів спектру 3-5мкм та 8-14 мкм. Дана оцінка доцільності використання квантових та теплових приймачів

випромінювання в залежності від робочого спектрального діапазону та температури спостерігаємих об'єктів.

Ключові слова: інфрачервоне випромінювання, інформативність каналів, багатоканальний тепловізійний пристрій.

УДК 517.518.83:681.3.08

## ЭФФЕКТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ЗАТУХАНИЯ ЛЮМИНОФОРА В ТЕМПЕРАТУРНЫХ СЕНСОРАХ

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

Известно, что измерение температуры объектов во взрывоопасных зонах и зонах с сильными электромагнитными полями с помощью классических электронных измерителей является затруднительным. В этом случае часто используются контактные оптические методы измерения, в частности, использующие процедуру определения постоянной времени (ПВ) затухания люминофора, находящегося на конце оптоволокна. В большинстве случаев прямой метод определения ПВ (путем измерения времени уменьшения сигнала в е раз) трудно реализуем или не обеспечивает требуемой точности. К тому же, к сожалению, данная проблема практически не освещается в литературе.

Наибольшего распространения получили известные метод полного интегрирования и метод наименьших квадратов логарифма сигнала. Оба алгоритма имеют существенный недостаток – они применимы только для функций вида $f(t) = ae^{-\frac{t}{\tau}}$. Предложенные в работе методы лишены указанного недостатка и применимы для функций вида $f(t) = ae^{-\frac{t}{\tau}} + b$. При этом используется разложение сигнала на ортогональные базисы.

Проведено сравнительный анализ помехоустойчивости существующих и предложенных методов.

Поскольку для прикладных задач очень важным параметром является способность работы алгоритма при зашумленном сигнале, в работе проведен сравнительный анализ помехоустойчивости существующих и предложенных методов. Показано, что предложенные алгоритмы обладают помехоустойчивостью сравнимой с методом наименьших квадратов логарифма, но при этом являются более быстродействующими (минимум на 30%).

Проведенные экспериментальные исследования опытных образцов измерителей температуры показали работоспособность и эффективность предложенных методов.

Ключевые слова: люминофор, температура, измерение, экспонента, постоянная времени, алгоритм, помехоустойчивость.

УДК 621.382

# КОМПЛЕКСУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ ДЕННИХ ДИСТАНЦІЙНИХ СПОСТЕРЕЖЕННЯХ

*Микитенко В.І., Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м.Київ, Україна*

Двоканальні оптико-електронні системи (ОЕС) цілодобового спостереження в складі каналів видимого і середнього інфрачервоного (ІЧ) діапазонів спектру як правило працюють послідовно (вдень - видимий канал, вночі – ІЧ канал), або паралельно на два монітори. Переключення каналів звичайно здійснюється при зменшенні освітленості фоноцільової обстановки ввечері, або її збільшенні вранці. Проте навіть вдень можливі різкі зміни освітленості в просторі предметів і контрасту на вході ОЕС, наприклад в дощ, туман, при частковій задимленості в полі зору. За таких умов доцільно розглянути можливість підвищення ефективності системи «ОЕС – оператор» шляхом комплексування інформації в каналах.

Доповідь присвячена результатам теоретичних і експериментальних досліджень поведінки системи «багатоканальна ОЕС – оператор» при дистанційних спостереженнях в несприятливих умовах. Зокрема розглянуті питання моделювання фоноцільової обстановки з врахуванням контексту поточної задачі. Показано, що при дистанційних спостереженнях, особливо на відстанях до кількох сотень метрів, високий ступінь адекватності забезпечує шарова модель простору об'єктів. Досліджені алгоритми комплексування інформації на рівні чутників, що забезпечують функціонування в близькому до реального масштабі часу.

Запропонований простий метод алгебраїчного комплексування, який є ефективним при денних спостереженнях в несприятливих умовах. Показаний спосіб адаптації шарової моделі фоноцільової обстановки для ефективної реалізації цього методу. Проаналізований вплив закону зміни вагових коефіцієнтів в окремих каналах двоканальної ОЕС від номеру шару простору на суб'єктивну візуальну якість зображення на екрані монітора.

Приведений аналіз експериментальних даних по денним дистанційним спостереженням взимку в умовах туману з допомогою двох варіантів двоканальної ОЕС з робочими спектральними діапазонами $\Delta\lambda1$=0,45 – 0,85 мкм (в першому варіанті – панхроматичний канал, в другому – трьохспектральний, кольоровий) і $\Delta\lambda2$=7,5 – 13,0 мкм.

Ключові слова: багатоканальні оптико-електронні системи, комплексування зображень, дистанційні спостереження, моніторинг навколишнього середовища

УДК 621.382

# СУМІЩЕННЯ ПОЛІВ ЗОРУ В БК ОЕС З РІЗНОФОРМАТНИМИ МАТРИЧНИМИ ПВ

*Микитенко В.І., Котовський В.Й., Богославський С.Г. Національний технічний Університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна*

Ефект від сумісного використання кількох інформаційних каналів в рамках однієї багатоканальної оптико-електронної системи (БК ОЕС) для медичних та дистанційних спостережень полягає в покращенні інформаційної якості результуючого зображення порівняно з кожним окремим зображенням. Необхідною умовою практичної реалізації такого покращення є достатньо точне просторове суміщення растрів приймачів випромінювання (ПВ) каналів в просторі предметів. Практично цього досягають двома шляхами – конструктивним суміщенням оптичних осей у вхідному блоці БК ОЕС і програмно під час комплексування інформації. Для БК ОЕС з однотипними ПВ (наприклад, "спектральні ПЗЗ камери низького розділення – панхроматична ПЗЗ камера високого розділення") просторове суміщення виконується відносно просто: по-перше, зображення в кожному каналі семантично не відрізняються; по-друге, фізичні формати ПВ каналів також мало відрізняються між собою. У випадках, коли в БК ОЕС значно відрізняються формати ПВ каналів, зіставлення зображень суттєво ускладнюється, адже при цьому часто релевантні елементи зображень одного каналу можуть бути відсутні в другому, або можуть мати суттєво відмінний характер.

Одним з найпоширеніших типів БК ОЕС наразі є системи у складі видимого ($\Delta\lambda_1$=0,45 – 0,85 мкм) і тепловізійного ($\Delta\lambda_2$=8 – 14 мкм) каналів. Релевантні ознаки зображень в каналах таких систем є суттєво відмінними, оскільки тепловізійний канал значною мірою відображає інформацію про внутрішній стан об'єкта спостереження, а видимий – про зовнішній. Крім того, незважаючи на те, що всі сучасні ПВ є матричними, розмірність ПВ видимого діапазону значно більше, ніж тепловізійного.

В доповіді на прикладі БК ОЕС з видимим і тепловізійним каналами, які оснащені різноформатними матричними ПВ, аналізується вирішення задачі взаємного вибору схемотехнічної конфігурації вхідного оптичного блоку БК ОЕС і методу комплексування зображень для медичної діагностики і дистанційної діагностики будівель. Показано, що для отримання задовільних результатів комплексування зображень, точність просторового суміщення полів зору каналів має відповідати методам комплексування.

Ключові слова: багатоканальні оптико-електронні системи, комплексування зображень, медична діагностика, дистанційні спостереження

УДК 621.384.3.001

# К РАСЧЁТУ ФОТОСИГНАЛА ОПТИКО – ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ С ВНЕШНЕЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

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

Определение эффективной части потока излучения, формирующей фотосигнал на приёмнике, сводится обычно к вычислению интеграла корреляции функций изображения и растра, в качестве которого могут быть диафрагма, анализатор и чувствительная площадка приёмника как в совокупности, так и порознь. В связи с тем, что поле облучённости сложно представлять аналитически из-за его многообразий и учёта искажений оптической системы, вычисление фотосигнала сопряжено с математическими трудностями. Проблема усложняется ещё в связи с тем, что излучающее поле может быть локализовано на сложной поверхности, заданной в собственной системе координат, которая к тому же движется по определённому закону. Примером такого случая является оптико-электронная система, сканирующая поверхность сферического ротора гироскопа.

Задачу вычисления фотосигнала можно существенно упростить, изобразив искусственно растр в пространстве излучателей, учитывая, однако, все изменения, вносимые оптической системой в обратном ходе лучей. Ввиду того, что растр чаще всего имеет простую или периодическую структуру, его оптический перенос в пространство излучателей на практике оказывается менее трудоёмким. Характерно, что в отличие от традиционного вычисления фотосигнала в плоскости анализа, совмещённой с плоскостью изображения внутри оптической системы, при таком подходе формирование и расчёт фотосигнала ведётся в системе координат, связанной жёстко с перемещающимся пространством излучения.

В работе уделено внимание необходимому преобразованию функции рассеяния точки для обратного хода лучей.

Ключевые слова: оптические сенсоры, датчики.