

СЕКЦІЯ 2

ОПТИЧНІ ПРИЛАДИ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ

УДК 535.21

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОННОГО ЗБІЛЬШЕННЯ ТСС НА МАКСИМАЛЬНУ ДАЛЬНІСТЬ РОЗПІЗНАВАННЯ

¹⁾Лихоліт М.І., ¹⁾Ридило О.С., ²⁾Колобродов В.Г., ²⁾Овечкін В.С., ¹⁾Казенне підприємство “Центральне конструкторське бюро “Арсенал”, м. Київ, Україна; ²⁾Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

Розпізнавання об’єктів з великих відстаней в останні роки набуло великого значення. Найбільш важливим параметром тепловізійної системи спостереження (ТСС), що вказує граничні можливості щодо розпізнавання, є максимальна дальність розпізнавання (МДР). Так, наприклад, велика МДР ТСС дозволяє з більших відстаней і з більшою вірогідністю знаходити з повітря джерело загоряння в палаючих лісах, а людям, які займаються обслуговуванням ліній електропередач, обходити менші ділянки й більш чітко встановлювати місця пошкоджень електроліній. Але збільшення МДР веде до збільшення витрат на виробництво ТСС. Тому, на етапі конструювання необхідно чітко знати за рахунок яких параметрів ТСС можливо збільшення МДР без суттєвих витрат.

Одним з таких параметрів, що впливають на МДР є електронне збільшення ТСС. Як відомо, при роботі “ТСС – оператор” у розпізнаванні об’єктів велике значення відіграє сприйняття зображення зоровим аналізатором (за) оператора. Але у багатьох методиках визначення МДР зорове сприйняття враховується у спрощеному вигляді і збільшення ТСС приймається за оптимальне. Однак, як показує практика, неврахування електронного збільшення веде до результатів, які можуть суттєво відрізнятись від експериментальних даних. Це можна пояснити тим, що значне відхилення збільшення від оптимального призводить до істотного погіршення сумарної роздільної здатності системи “ТСС – за”.

Таким чином, можна зробити висновок, що ця проблема є дуже важливою для сучасного приладобудування. Тому, нами був проведений аналіз впливу електронного збільшення на МДР, а також проведені експериментальні дослідження з використанням кількох ТСС для перевірки теоретичних даних.

Даний аналіз та експериментальні дослідження дозволили висунути вимоги до сучасної ТСС та врахувати електронне збільшення в методиці визначення МДР.

Ключові слова: тепловізор; електронне збільшення; максимальна дальність розпізнавання.

УДК 621.383; 681.513

МЕТОД РАСЧЕТА ДВУХКОНТУРНЫХ СИСТЕМ АВТОСОПРОВОЖДЕНИЯ С ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМИ ДАТЧИКАМИ

Марцінюк В.И., Стефанович В.Т., ГП НИИ Квант, г. Киев, Украина

Использование оптико-электронных систем автоматического слежения за движущимися объектами на подвижных носителях и высокие требования к точности определения координат объектов приводят к необходимости создания двухконтурных систем автосопровождения (САС). Первым контуром САС является контур сопровождения для формирования сигналов рассогласования линии визирования объекта слежения и оптической оси системы, вторым – контур стабилизации для парирования возмущающих воздействий от эволюций носителя.

В качестве оптико-электронных датчиков системы часто применяют телевизионные и тепловизионные камеры, что обуславливает дискретное поступление информации в САС. Применяв для синтеза дискретного контура сопровождения критерий минимума среднеквадратической ошибки при заданном времени переходного процесса, получим контур, содержащий импульсный элемент, фиксатор нулевого порядка ($W(p) = 1 - e^{-pT} / p$), интегратор (K_1/p) и звено в обратной связи $W_{oc}(p) = K_{oc}$.

Используя Z-преобразование, запишем передаточную функцию замкнутого контура сопровождения: $\Phi(z) = K_1 T / (Z - 1 + K_1 K_{oc} T)$.

Условие $K_1 K_{oc} T = 1$ обеспечивает минимальное время переходного процесса контура и дает $\Phi(z) = K_1 T Z^{-1}$.

Учитывая, что $Z = e^{pT}$, получим $\Phi(p) = K_1 T e^{-pT}$.

Отнесем множитель $K_1 T$ к непрерывной части системы, а выражение передаточной функции разомкнутой системы сопровождения запишем в виде: $W_{сac}(p) = W_n(p) e^{-pT}$; здесь $W_n(p)$ – передаточная функция непрерывной части системы.

Выражение передаточной функции разомкнутой системы в общем виде:

$$W_{сac}(p) = K_p \prod_{k=1}^m (1 + T_k p) e^{-pT} / p^n \prod_{i=1}^q (1 + T_i p);$$

здесь K_p – коэффициент усиления разомкнутой системы сопровождения.

Фазовую характеристику системы можно выразить в виде:

$$\Psi(\omega) = -n 90^\circ + \sum_{k=1}^m \arctg \omega T_k - \sum_{i=1}^q \arctg \omega T_i - \omega T 180/\pi;$$

Сравнительный анализ данного метода расчета с известным, использующим Z-преобразование, показал возможность его применения в инженерной практике.

Ключевые слова: оптико-электронный датчик, двухконтурная система автоматического сопровождения.

УДК 621.384

ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ ПЕРИСКОП ДЛЯ СКРЫТНОГО НАБЛЮДЕНИЯ

Слинько Л.А., Стефанович В.Т., Грандаш М.М., ГП НИИ «Квант», г. Киев, Украина

Некоторые задачи охраны объектов, борьбы с преступностью и терроризмом требуют обеспечения скрытности наблюдения с возможностью документирования наблюдаемой сцены, например, на видеомагнитофон.

В ГП НИИ «Квант» разработан и изготовлен предназначенный для указанных целей телевизионный перископ (ТВП). При разработке ТВП обеспечено выполнение ряда основных требований к нему:

- перископ должен быть компактным и обеспечивать скрытность наблюдения;
- информация об окружающем пространстве должна отображаться на телевизионном мониторе;
- оптическая высота перископа должна быть достаточной для обеспечения оптимального обзора в угле обзора по азимуту ± 150 град.;
- увеличение и разрешение перископа должны быть достаточны для рассматривания и изучения объектов на расстоянии 15...100 м при естественной освещенности.

Основными функциональными устройствами ТВП являются оптико-электронный прибор (ОЭП), телевизионный монитор и блок питания и управления. ОЭП при помощи оптического перископа обеспечивает формирование и передачу оптического изображения наблюдаемой сцены на ПЗС матрицу телевизионной камеры. Для регулирования освещенности изображения на ПЗС матрице служит узел светофильтров с дистанционно управляемым приводом. Угол обзора по азимуту обеспечивается поворотом перископа вокруг оптической оси на угол ± 150 град при помощи узла наведения, который представляет собой двухступенчатый редуктор с электронным регулятором скорости вращения.

Оптическая система перископа включает в себя поворотную призму, объектив, два коллектива, оборачивающую и проекционную системы. С целью повышения технологичности двухлинзовые склейки объектива, оборачивающей и проекционной систем выбраны одинаковыми. Система имеет поле зрения 10,5 град., диаметр входного зрачка 6 мм, перископичность (расстояние от первой оптической поверхности до ПЗС матрицы) 200 мм, разрешение 1 угл.мин. В качестве ПЗС камеры могут быть использованы стандартные ПЗС камеры 1/3" или 1/2", например LTC 0385 фирмы BOSCH.

Компактность конструкции перископа позволяет обеспечивать скрытное наблюдение путем его имитации под элементы ограды, антену автомобиля и т.п. Проведенные испытания подтвердили проектные технические характеристики.

Ключевые слова: телевизионные системы наблюдения, перископ.

УДК 621.384.3

АНАЛИЗ ОБНАРУЖИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ

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

Принцип действия и элементная база приборов ночного видения (ПНВ), применяемых в настоящее время, весьма различны. Все они имеют свои недостатки и, соответственно, ограниченные возможности применения. В связи с этим представляется целесообразным создание многоканальных ПНВ на базе известных типов ПНВ таким образом, чтобы недостатки одних каналов компенсировались бы достоинствами других и, ввиду этого, увеличивалась помехозащищённость всей оптико-электронной системы в целом.

Степень помехозащищённости обнаружительно-распознающих систем, к которым относятся ПНВ, можно охарактеризовать критерием идеального наблюдателя – минимизация ошибок первого и второго рода (вероятность ложной тревоги $P_{л.тр}$ и вероятность пропуска полезного сигнала $P_{проп}$):

$$K = \min \{P_{\Sigma}\} = \min \{P_{л.тр} + P_{проп}\},$$

где K – численное представление критерия Котельникова.

В данной работе на основе статистических методов проведено моделирование функционирования двухканального ПНВ, которое состоит в следующем: излучение от одного и того же объекта воспринимается в двух спектральных диапазонах, и затем анализируется в двумерном пространстве сигналов. Исходными данными для моделирования были взяты статистические характеристики инфракрасного излучения фонов. Результаты моделирования показали, что критерий Котельникова для двухканальных систем может быть в несколько раз меньше, чем в одноканальных. Это означает, что во столько же раз ошибочных решений в двухканальных системах меньше, чем в одноканальных.

Таким образом, рассмотрение модели функционирования простейшей многоканальной системы позволяет в определённой мере количественно оценить улучшение помехозащищённости ПНВ с увеличением числа каналов.

Ключевые слова: многоканальный прибор ночного видения, критерий Котельникова, статистические характеристики, обнаружение.

УДК 621.383 + 681.7.013

ОСОБЛИВОСТІ ЦИФРОВИХ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ОПТИЧНО- ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

*Кравченко І.В., Куропаткін Ю.С., Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна*

Визначення характеристик оптико-електронних систем (ОЕС) є важливою

складовою процесу проектування. Для опису характеристик ОЕС стандартом “де факто” стало застосування частотних просторових та часових функцій. Методика обрахунку таких характеристик ОЕС (амплітудно-частотної характеристики, модуляційної передаточної функції і т.д.) базується на методах спектрального перетворення Фур'є. Сучасні методи проектування та моделювання ОЕС проводяться із застосуванням комп'ютерних технологій. При описі елементів та сигналів ОЕС, як дискретних у вигляді послідовностей чисел, для спектральних перетворень використовуються алгоритми дискретного перетворення Фур'є (ДПФ).

Застосування в ОЕС багатоеlementних фотоприймачів та повсюдне використання мікропроцесорних схем обробки та керування вимагає наявності методів, що забезпечують отримання результатів за мінімальний термін та з високою точністю.

Виявлено, що при збільшенні розміру послідовності з'являються суттєві похибки розрахунків.

Проведено дослідження похибок розрахунку, як різниці між аналітичними результатами та результатами комп'ютерного моделювання для дійсної, уявної частин Фур'є образу, амплітудного і фазового спектрів сигналу. В якості сигналів використано типові сигнали.

Проведено аналіз за допомогою універсальних комерційних систем інженерного аналізу, таких, як “Маткад”, “Матлаб”, прикладних бібліотек чисельних методів. Виявлено, що їх застосування не знижує похибок.

Визначено, що похибки розрахунку дійсної і уявної частин мають випадковий характер і залежать від параметрів Фур'є перетворення. Визначено також, що похибки мають найбільший вплив на фазовий спектр.

Виявлено залежність похибки від розміру вибірки та номера гармоніки спектрального перетворення.

Досліджено джерела обчислювальних похибок та можливі шляхи їх усунення: тип та алгоритм перетворення, метод обрахунку та вид базису перетворення.

Проаналізовано вплив на похибку розрахунку співвідношення між параметрами імпульсу і розміром послідовності з урахуванням кількості вхідних вибірок. Зроблено рекомендації, щодо вибору параметрів ДПФ для мінімізації похибок, а також можливості застосування ДПФ для аналізу систем.

Ключові слова: спектральний аналіз, швидке перетворення Фур'є.

УДК 681.787.7

ЛАЗЕРНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ БЕЛОГО СВЕТА

¹Чуча А. М., ¹Кучеренко О. К., ²Гураль Т. И., ¹Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина; ²Казенное предприятие «Центральное конструкторское бюро «Арсенал», г. Киев, Украина

В настоящее время наиболее мощным средством контроля качества изготовления поверхностей является применение сканирующей интерферо-метрии белого света (СИБС). СИБС обеспечивает вертикальное сканирование исследуемой поверхности в диапазоне линейных размеров соизмеримых с высотой микрорedefектов. Расширение функциональных возможностей СИБС возможно, когда в её состав включить лазерный интерферометр для измерения линейного перемещения объектов, характеризуемый сравнительно менее высокой точностью, но зато большим линейным диапазоном измерения перемещений.

Известно несколько вариантов схем построения таких лазерных интерферометров, а именно:

- с одночастотным лазером на входе;
- с двухчастотным лазером на входе;
- с внутренней фазовой модуляцией.

Авторами проведен сравнительный анализ типичных схем лазерных интерферометров для измерения перемещений объектов по наиболее важным параметрам: диапазон измеряемых линейных перемещений, точность измерения, габариты, надежность, возможность сопряжения с другими блоками и программным обеспечением интерферометра белого света (ИБС) и т. п.

По результатам проведенного исследования сделан вывод о том, что наиболее приемлемым для включения в состав СИБС является лазерный интерферометр с одночастотным лазером на входе. Анализ показал что такой интерферометр обеспечивает получение следующих параметров измерения перемещения:

- диапазон измерения - 1000мм;
- точность измерения - 0.01мкм.

Ключевые слова: сканирующая интерферометрия белого света; измерения линейного перемещения объектов.

УДК 623.4.052.5:623.4.023.43

О РАССОГЛАСОВАНИИ ВИЗУАЛЬНОЙ И ЛОКАЦИОННОЙ ОСЕЙ ЛАЗЕРНОГО ДАЛЬНОМЕРА

Кучеренко О.К., Бойкова Е.В., Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

Точность согласования оптических осей каналов наблюдения и дальнометрирования является одним из основных факторов, который приводит к ухудшению эксплуатационных характеристик локационных лазерных дальнометров. К таким характеристикам в первую очередь относятся снижение дальности действия и уменьшение точности измерений. Если ось визуального канала (прицела) не совпадает с осью дальномерного канала на некоторый угол, то индикатриса лазерного локатора касается цели краем, где сила излучения меньше чем на оси индикатрисы. В этом случае меньше излучения попадает на

поверхность цели и, следовательно, эхо-сигнал, попадающий на приёмник, уменьшается.

Проведенный анализ позволил произвести выбор длины волны излучения лазерного локатора. Учитывалось, что при увеличении длины волны излучения коэффициент ослабления атмосферы и турбулентное уширение уменьшаются, а это приводит к уменьшению потерь излучения. В то же время увеличение дифракционной расходимости излучения приводит к обратному эффекту, что позволило сделать вывод о наличии оптимального значения длины волны излучения лазера.

Авторами также рассмотрено влияние формирующей оптики на параметры лазерного пучка, приведены формулы расчета формирующей оптики и параметров лазерного пучка, пригодные для инженерных расчетов. Получена также формула для оценки предельного угла поворота индикатрисы излучения лазера относительно направления на цель, при котором приемник ещё может с заданной вероятностью обнаружить отраженное от цели излучение.

На основании проведенных исследований разработана математическая модель, которая учитывает форму индикатрисы излучения, мощность излучателя, расстояние до цели и ее размер, чувствительность и размеры приёмной площадки фотоприёмника, параметры атмосферы.

По предложенной модели проведены числовые расчеты, позволяющие оценить порядок возможного рассогласования осей дальномерного и визуального каналов лазерного дальномера.

Ключевые слова: дальномер, рассогласование осей, канал дальномерирования, индикатриса излучения.

УДК 681.784

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ МАЛОГАБАРИТНОГО И МНОГОХОДОВОГО КЮВЕТА ДЛЯ АНАЛИЗА СМЕСИ ГАЗОВ

*Михеенко Л.А., Ахмед М. Лазим, Национальный технический университет Украины,
"Киевский политехнический институт", г. Киев, Украина*

Количественный абсорбционный анализ основан на существовании зависимости между концентрацией поглощающих атомов и молекул газа и изменением интенсивности прошедшего газовую среду зондирующего излучения. Поглощение происходит на резонансных частотах, определяемых в атомах их электронными энергетическими состояниями, а в молекулах – электронно-колебательно-вращательными состояниями. В первом случае спектр поглощения представляет собой набор отдельных спектральных линий, а во втором – набор полос, образованных совокупностью спектральных линий. В общем виде поглощение излучения в газы описывается законом Бугера – Ламберта.

Поэтому на практике при определении концентрации как атомов, так и молекул аналитическая связь между изменением интенсивности зондирующего

излучения содержанием определяемых поглощений частиц устанавливается экспериментально используется в виде градуировочных графиков.

Для решения одной из основных проблем анализа, связанных с обеспечением высокой селективности и достижением низких пределов определения концентрации используется увеличение толщины поглощающего слоя.

Чтобы реализовать необходимую чувствительность в диапазоне разных концентраций газов нужно найти оптимальный оптический путь, который реализуется таким образом, чтобы обеспечить многократное прохождение зондирующего излучения через анализируемый газ.

В работе проанализированы, разработанные автором многоходовые и многокомпонентные линейные зеркальные кюветы, которые позволяют одновременно анализировать несколько компонентов исследуемых смесей.

Были выбраны оптимальные габаритные размеры, связанные с изменением оптического пути и количеством прохождения. Была разработана математическую модель и сделан расчет нескольких вариантов кювета. В результате работы сделали выводы: для увеличения длины оптического пути в кювете нужно увеличивать высоту кювета и количество прохождений, а также увеличить отношение высоты к длине.

Использование зеркальных кюветов для разработки газового анализатора дает возможность увеличить длину оптического пути в поглощающей среде, уменьшить габариты газоанализатора, проводить одновременно анализ нескольких компонентов газовой смеси.

Ключевые слова: газоанализатор, инфракрасный, малогабаритный многоходовой.

УДК 621.383; 681.513

ВПЛИВ ФЛУКТУАЦІЙ ТА ШУМІВ У ВХІДНОМУ СИГНАЛІ ТЕЛЕВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО СУПРОВОДЖЕННЯ НА ЙМОВІРНІСТЬ ЗРИВУ СУПРОВОДЖЕННЯ

Русняк І.М., ДП НДІ “Квант”, м. Київ, Україна

Відомо, що для забезпечення заданих технічних характеристик телевізійної системи автоматичного супроводження (ТСАС) при виборі параметрів її оптико-електронного тракту необхідно враховувати вплив флуктуацій та шумів у вхідному сигналі ТСАС. Проте при аналізі процесу супроводження та розрахунку ймовірності його зриву ТСАС зазвичай розглядається як система автоматичного регулювання, в якій збурюючі фактори приймаються як задані і безвідносно до їх походження. Дана робота присвячена аналізу впливу флуктуацій та шумів у вхідному сигналі на ймовірність зриву супроводження, для чого ТСАС розглядається саме як оптико-електронна система, а закон регулювання враховується введенням відповідного коефіцієнта $K_{рег}$.

В якості основних флуктуаційно-шумових факторів в ТСАС розглянуто флуктуації кута приходу випромінювання об'єкта, обумовлені турбулентністю атмосфери, та шуми в оптико-електронному тракті ТСАС. Вони викликають флуктуації положення центра зображення супроводжуваного об'єкта з наступною дисперсією (одномірний випадок вздовж координати X):

$$\sigma^2 = \frac{\sigma_{\beta}^2}{(\delta\alpha_{opt})^2} + \frac{X_{об}^2}{SNR_{об}^2 \cdot K_{об}},$$

де σ_{β}^2 – дисперсія кута приходу оптичного випромінювання, $\delta\alpha_{opt}$ – миттєвий кут поля зору оптичної системи ТСАС, $X_{об}$ – розмір зображення об'єкта, $SNR_{об}$ – співвідношення сигнал/шум в сигналі об'єкта, $K_{об}$ – коефіцієнт, для малорозмірних об'єктів $K_{об}=2,8$, для протяжних об'єктів $K_{об}=12$.

З врахуванням визначеної таким чином дисперсії σ^2 ймовірність зриву супроводження об'єкта $P_{зр}(t_{cn})$ за час супроводження t_{cn} в припущенні ізотропності флуктуацій вздовж координат X та Y має наступний вигляд:

$$P_{зр}(t_{cn}) = \frac{2 \cdot t_{cn}}{\pi \cdot \tau_{кор}} \cdot \exp\left(-\frac{\gamma^2}{2 \cdot K_{рег} \cdot \sigma^2}\right),$$

де $\tau_{кор}$ – інтервал кореляції флуктуацій координат об'єкта, γ – допустима амплітуда цих флуктуацій.

Таким чином, отримано формули, що встановлюють зв'язок ймовірності зриву супроводження об'єкта з дисперсією та інтервалом кореляції флуктуацій та шумів в сигналі ТСАС. Подальший напрямок досліджень пов'язаний з уточненим розрахунком ймовірностей правильного виявлення та фальшивих тривог в ТСАС з врахуванням вимог до ймовірності зриву супроводження.

Ключові слова: телевізійна система автоматичного супроводження, флуктуація, шум, ймовірність зриву супроводження.

УДК 621.396.962.3

ФОРМИРОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ЛАЗЕРНОГО ПЕРЕДАТЧИКА

Стеба А.М., ГП НИИ “Квант”, г. Киев, Украина

Постановка ложных лазерных целей (ЛЛЦ) является эффективным средством защиты от высокоточного оружия, оснащенного полуактивными лазерными головками самонаведения [1]. В случае защиты надводных кораблей ЛЛЦ формируется путем подсвета морской поверхности на безопасном расстоянии от корабля по азимуту атакующего боеприпаса.

Ввиду того, что текущий азимут боеприпаса может не совпадать с азимутом лазерного целеуказателя (ЛЦУ) противника, измеренным системой обнаружения лазерных излучений [2], существует зона неопределенности по азимуту по-

рядка $\pm 25^\circ$ относительно направления на ЛЩУ, в пределах которой может находиться боеприпас. Для расширения диаграммы направленности отраженного от морской поверхности лазерного излучения целесообразно искусственно увеличить расходимость пучка лазерного излучения как по азимуту, так и по углу места.

Для этого цели на выходе прибора лазерного передатчика установлена формирующая оптическая система, представляющая собой сферо-цилиндрическую линзу, имеющую различные фокусные расстояния f_1 и f_2 в сагитальной и меридиальной плоскостях соответственно.

Предполагалось, что излучение на выходе излучателя прибора лазерного передатчика сформировано в виде четырех параллельных пучков, расположенных симметрично относительно оптической оси на равном расстоянии от нее. Ввиду того, что каждый из пучков содержит большое количество несинхронизированных поперечных мод, распределение плотности мощности излучения по поперечному сечению пучка имеет вид осесимметричного двумерного гауссового распределения с некоторым радиусом a по уровню e^{-1} от максимума и радиусом поперечной когерентности пучка r_k . Линза представлялась в виде двумерного фазового транспаранта.

В приближении Френеля найдено распределение плотности мощности в поперечном сечении пучка на произвольном расстоянии z от прибора. Для больших $z \gg f_{1,2}$ найдено угловое распределение интенсивности излучения.

$$I_j(\varphi_x, \varphi_y) = \frac{P_0}{\pi \theta_x \theta_y} \exp\left(-\frac{(\varphi_x - \varphi_{x0j})^2}{\theta_x^2} - \frac{(\varphi_y - \varphi_{y0j})^2}{\theta_y^2}\right), \text{ где } \theta_{x,e} = \sqrt{\frac{1}{k^2 a^2} + \frac{4}{k^2 r_k^2} + \frac{a^2}{f_{1,2}^2}},$$

$\varphi_{x0j} = \frac{x_{0j}}{f_1}$, $\varphi_{y0j} = \frac{y_{0j}}{f_2}$, x_{0j} , y_{0j} – координаты осей исходных пучков, k – волновой вектор, P_0 – мощность импульса одного пучка.

Таким образом распределение интенсивности излучения в дальней зоне представляет собой четыре расходящихся пучка, оси которых направлены под различными углами к оси Z , а сечение по уровню e^{-1} представляет собой эллипс с осями θ_x и θ_y соответственно.

Ключевые слова: лазерное излучение, диаграмма направленности.

УДК 621

ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР СХЕМЫ КАЛИБРОВАННОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ СО СМЕННОЙ ЯРКОСТЬЮ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОЙ ФОТОМЕТРИИ

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

Калиброванные излучатели со сменной яркостью (КИСЯ) широко исполь-

зуються при измерении энергетических характеристик приемников излучения (ПИ), для калибровки фотометрического оборудования и аттестации оптико-электронных измерительных приборов. Существующие КИСЯ в полной мере не удовлетворяют требованиям современной оптической метрологии, особенно в задачах аттестации многоэлементных ПИ.

В докладе приведены результаты исследования и сравнительный анализ известных и возможных схем построения КИСЯ, выявлены их преимущества и недостатки. Для анализа были выбраны схемы, позволяющие регулировать яркость вторичного источника излучения (ВИИ) на основе одного из следующих фотометрических законов: закон обратных квадратов расстояний, а также его комбинации с конденсором, дополнительными регулируемыми ослабителями излучения или с интегрирующей сферой, закон Малюса, закон аддитивности потоков в сочетании с двумя фотометрическими шарами.

Наиболее важным критерием оценки того или иного КИСЯ для интегрально-го осветителя аттестационной установки можно считать точность выполнения зависимости яркости ВИИ от регулируемого параметра. Сравнение схем производилось и по другим критериям таким как: максимальная яркость ВИИ, диаметр линейной зоны выходной апертуры КИСЯ, в которой неравномерность яркости не превышает 1...2%, спектральная неселективность, габариты и др.

Показано, что наиболее перспективными схемами построения КИСЯ для точной фотометрии являются схема, основанная на законе обратных квадратов расстояний с дополнительными регулируемыми ослабителями, и схема с двумя интегрирующими сферами.

Полученные результаты могут быть полезными при решении проблемы создания КИСЯ для метрологических аттестационных установок.

Ключевые слова: точная фотометрия, калиброванный излучатель со сменной яркостью, ослабление излучения, закон обратных квадратов расстояний.

УДК 535.15:535.24

К АНАЛИЗУ ПОДВИЖНЫХ РАСТРОВЫХ СИСТЕМ

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

Растровые системы играют определяющую роль при исследовании и разработке оптико-электронных систем, поэтому развитие и углубление их теоретической основы остаётся, как и прежде, актуальным. Известные методы спектрального анализа сводятся к определению амплитуды выделяемой фильтром гармоники путём интегрирования произведения одно или дважды преобразованных по Фурье двумерных функций освещённости и прозрачности растра. Сложность преобразований этих функций и конечного интегрирования определяется самими функциями и выбором систем координат. Практика свидетельствует, что подынтегральные функции проще задавать в собственных локаль-

ных системах, однако, для интегрирования их произведения приходится, как минимум, одну из функций переопределять в вычислительной системе координат, что неизбежно усложняет интеграл.

Рассмотрены и сопоставлены различные варианты вычислений амплитуды гармоник фотосигнала, в результате чего показано, что преобразования оказываются громоздкими даже тогда, когда исходные функции и уравнение движения раstra являются простыми. Преобразования оказываются особенно сложными в случае вращающихся растр и функций с круговой симметрией, когда неизбежным становится обращение к полярным координатам и появление цилиндрических функций. С целью упрощения процедуры вычисления интеграла предложено после одномерного преобразования Фурье функций раstra и освещённости разложить их в ряд Бесселя, а затем применить теорему сложения цилиндрических функций. Такой приём приводит к тому, что преобразованные функции, находящиеся под интегралом, остаются заданными простейшим образом относительно начала локальных координат. Реальное же относительное смещение поля освещённости и раstra автоматически учитывается с помощью теоремы сложения фазовым множителем, аналогичным таковому в теореме сдвига в теории спектров Фурье.

Ключевые слова: растр, модулятор, анализатор.

УДК 535.2

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К СИНТЕЗУ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЛУЧАЙНОГО ПОЛЯ

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

При исследовании и разработке оптико-электронных приборов необходим учёт статистических свойств внешней помехи, которая, как правило, во много раз превышает внутренние шумы. Априорные сведения о помехе, являющейся часто двумерным случайным полем (фоном), получают в результате натурных измерений или же математически – путём формирования адекватной модели, базирующейся на положениях математической статистики и теории случайных функций.

В обоих случаях не приходится рассчитывать на получение исчерпывающих характеристик случайных полей, вот почему математическое моделирование, сопряжённое с меньшими затратами, может в отдельных ситуациях оказаться предпочтительным. В частности, в книге “Введение в статистическую оптику” О’Нейла приводится теория описания случайных полей в виде хаотично размещённых квадратов или кружков, которая, несмотря на громоздкость, позволила получить искомые результаты.

В данной работе предложен более простой и универсальный путь математического описания полей, являющихся случайной композицией одинаковых эле-

ментов.

Предложенный метод математического формирования таких полей и получения их статистических параметров базируется на теории линейных систем. Суть этого метода состоит в следующем: если взять оптическую систему с функцией рассеяния точки такого же вида, как и функция, описывающая элемент случайного поля, то, взяв за исходное случайное поле из множества точечных излучателей, оптическая система создаст в плоскости изображения эквивалентное случайное поле, состоящее из множества произвольно размещённых одинаковых элементов.

Так как энергетический пространственный спектр случайного поля из точек является белым, то (с точностью до постоянного сомножителя) спектр оптически синтезированного случайного поля будет представляться квадратом модуля комплексного пространственного спектра одного элемента, из множества которых состоит эквивалентное поле. Определив энергетический спектр такого случайного поля, получить такие статистические характеристики, как корреляционная функция и дисперсия, уже не составит труда.

Изложенное выше иллюстрировано несколькими примерами, демонстрирующими простоту предложенной методики.

Ключевые слова: оптика, оптико-электронные приборы.

УДК 535.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ СИНГУЛЯРНОСТЕЙ

Богатырева Г.В., Тарасюк А., Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

Представлены результаты экспериментальных исследований поляризационных сингулярностей путем измерения с помощью ПЗС-камеры пространственного распределения параметров Стокса с последующей их обработкой на ПК.

Проведено экспериментальное исследование случая смешения взаимно-когерентных произвольно ортогонально поляризованных мод Лагера-Гаусса с заданным соотношением интегральных потоков в схеме интерферометра Маха-Цендера с ПЗС-камерой в качестве приемника излучения. Данные эксперимента хорошо подтверждают предложенный в [1] метод расчета двумерного распределения параметров Стокса комбинированного пучка.

Экспериментально найденные координатные распределения параметров Стокса позволяют вычислить соответствующие распределения эллипсометрических параметров (азимут поляризации, угол эллиптичности) и степени поляризации в заданном сечении комбинированного пучка. Проводится оценка погрешностей, вносимых неидеальностью оптических элементов, и их влияние на результат измерения.

Проанализированы и подтверждены экспериментально посредством поляризационной и дифракционной диагностики характерные сингулярности поляризационных параметров комбинированных пучков.

Обсуждается возможность применения данной методики формирования лазерного пучка с пространственно модулированным состоянием поляризации для кодирования и передачи данных по оптоволоконным линиям связи.

Ключевые слова: поляризационная сингулярность, мода Лагера-Гаусса, параметры Стокса.

Литература

1. Богатырева Г.В., Фельде К.В., Полянский П.В., Соскин М.С. Нетипичные поляризационные сингулярности в комбинированных вихревых пучках // Оптика и спектроскопия. - 2004. - Т. 97, № 5. – С. 833–840.

УДК 681.7

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА КАЧЕСТВО ИЗОБРАЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ.

Тягур В.М., Ворох С.А, Шекера А.Ю., Казенное предприятие «Центральное конструкторское бюро «Арсенал», г. Киев, Украина

При конструировании объективов для сканеров дистанционного зондирования Земли очень важно учитывать влияние условий эксплуатации прибора на качество изображения. Особое место в этом списке занимает влияние температуры на изменение качества изображения.

В докладе представлены результаты моделирования влияния температуры на качество изображения оптико-механического блока много зонального спектрального устройства (ОМБ МСУ), в том числе и при неравномерном нагреве оптических элементов и конструкции.

При неравномерном нагреве оптических элементов появляется радиальный и осевой градиент показателя преломления, а также нелинейная деформация формы оптических поверхностей. Каждая точка поверхности при осесимметричном неравномерном нагреве перемещается по радиусу и по толщине детали на:

$$\Delta h = \int_0^h \Delta T(h) dh ; \quad \Delta l = \int_0^l \Delta T(l) dl .$$

Вследствие градиента температуры каждая точка объема оптического элемента будет иметь свой показатель преломления, который может быть определен формулой:

$$n = n_0 + n_{r2} \cdot r^2 + n_{r4} \cdot r^4 + n_{r6} \cdot r^6 + n_{z1} \cdot z + n_{z2} \cdot z^2 + n_{z3} \cdot z^3$$

По результатам теплового расчета ОМБ МСУ были рассчитаны деформации оптических поверхностей, аппроксимированные полиномами Цернике, и градиент показателя преломления каждого элемента. Проведенный термооптический анализ оптической модели системы показал, что наибольший вклад в термооп-

тическую расфокусировку вносит деформация поверхностей первой линзы, имеющей наибольший градиент температуры. Частично компенсирует эту расфокусировку увеличение длины корпуса объектива. Остаточная величина термооптической расфокусировки может достигать половины глубины резкости объектива, что требует ее компенсации в процессе настройки сканера в реальных условиях термобаровоздействия.

Ключевые слова: термооптический анализ, градиент температуры, коэффициенты полинома Цернике, градиент показателя преломления.

УДК 681.7

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ТРЕХЗЕРКАЛЬНОГО ОБЪЕКТИВА МНОГОСПЕКТРАЛЬНОГО СКАНЕРА.

*Тягур В.М., Казенное предприятие «Центральное конструкторское бюро «Арсенал»,
г. Киев, Украина*

Для получения высокого качества изображения земной поверхности оптические системы сканеров дистанционного зондирования Земли должны обладать качеством изображения близким к дифракционному пределу. При этом к таким системам предъявляются жесткие требования по величине рабочего спектрального диапазона, увеличению поля зрения, ограничению габаритных и весовых характеристик. В докладе представлены результаты разработки трехзеркального объектива для сканера высокого разрешения.

Разработанная схема представляет собой зеркальный объектив, состоящий из трех зеркал, два из которых представляют собой условно децентрированные зеркала. Такой объектив работает внеосевым щелевым полем зрения и обладает, по сравнению с классическими осесимметричными зеркально-линзовыми объективам, рядом преимуществ. В нем отсутствует центральное экранирование пучка, что значительно повышает модуляционную передаточную функцию, отсутствует виньетирование пучков для всего широкого щелевого поля зрения и он может работать в широком спектральном диапазоне. При этом качество изображения по всему полю зрения близко к дифракционному.

Разработанный объектив обладает следующими техническими характеристиками: фокусное расстояние – 1750 мм; диаметр входного зрачка – 300 мм; относительное отверстие – 1:5.83; спектральные диапазоны - $\Delta\lambda_{\text{PAN}}=0.5\dots0.89$, $\Delta\lambda_1=0.45\dots0.52$, $\Delta\lambda_2=0.52\dots0.59$, $\Delta\lambda_3=0.63\dots0.69$, $\Delta\lambda_4=0.76\dots0.89$; угловое поле зрения - $2\omega=2^\circ34'$; коэффициент передачи модуляции на частоте Найквиста панхроматического канала $N=77 \text{ мм}^{-1}$ – $T>0.50$; коэффициент передачи модуляции на частоте Найквиста спектральных каналов $N=42 \text{ мм}^{-1}$ – $T_1>0.54$, $T_2>0.58$, $T_3>0.60$, $T_4>0.58$; длина объектива – $L_{\text{ОБ}}=0.47f'_{\text{ОБ}}$.

Сканер с этим объективом позволяет при использовании ПЗС-линейки с размером пикселя 6.5x6.5 мкм обеспечить размер проекции пикселя на по-

верхности Земли $R=2.5$ м в панхроматическом канале и $R=4.6$ м в четырех спектральных каналах при размере пикселя 12×12 мкм.

Ключевые слова: многоспектральный сканер, трехзеркальный объектив.

УДК 535.317.1

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОТОБРАЖЕНИЯ ПРОСТРАНСТВА ПРЕДМЕТОВ В ПРОСТРАНСТВО ВИДИМЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

¹⁾Потапова Г.К., ²⁾Москаленко К.М., ¹⁾Казенное предприятие «Центральное конструкторское бюро «Арсенал», г. Киев, Украина; ²⁾КПНЛ № 145, г. Киев, Украина

Решение некоторых задач, в частности задачи точного визирования из кабины летательного аппарата, невозможно без знания как правила отображения пространства предметов в пространство видимых изображений, так и правила обратного отображения. Созданию математической модели такого взаимного отображения и посвящена данная работа.

Ранее на основе теории геометрии пространства видимых изображений была создана математическая модель, описывающая механизм формирования видимого изображения предметной точки и правило отображения как совокупность вычислительных операций для определения координат точки схождения двух центральных предметных лучей, поступающих в центры зрачков глаз наблюдателя. Модель позволяет по заданному массиву координат α_p, β_p, Z_p предметных точек получить массив соответствующих координат α_v, β_v, Z_v их видимых изображений. При этом в алгоритме был использован метод прослеживания хода лучей (трассировки) с последующей оптимизацией для поиска параметров лучей, удовлетворяющих целевой функции.

Нами разработаны более простой алгоритм, основанный на применении принципа Ферма для определения хода луча, и Maple-программа для определения геометрии видимых изображений, наблюдаемых через различные остекления из двух преломляющих оптических поверхностей второго порядка. Разработан также алгоритм получения аналитического выражения для правила отображения φ ($\varphi: P \rightarrow V$) пространства предметов P в пространство видимых изображений V , использующий последовательную полиномиальную аппроксимацию и интерполяцию функциональных зависимостей между парами трехмерных массивов соответствующих координат точек. Это позволяет определить аналитическое выражение и для правила обратного отображения ψ ($\psi: V \rightarrow P$) как удовлетворяющего очевидному условию $\psi(V) = \psi(\varphi(P))$:

$$\varphi := \begin{cases} \alpha_v = F_\alpha(\alpha_p, \beta_p, Z_p); \\ \beta_v = F_\beta(\alpha_p, \beta_p, Z_p); \\ Z_v = F_Z(\alpha_p, \beta_p, Z_p); \end{cases} \quad \psi := \begin{cases} \alpha_p = \overline{F}_\alpha(\alpha_v, \beta_v, Z_v); \\ \beta_p = \overline{F}_\beta(\alpha_v, \beta_v, Z_v); \\ Z_p = \overline{F}_Z(\alpha_v, \beta_v, Z_v). \end{cases}$$

Таким образом, создана математическая модель биективного отображения пространства предметов в пространство видимых изображений.

Ключевые слова: геометрия пространства, пространство предметов, пространство видимых изображений, математическая модель отображения.

УДК 535.317.1: 681.7.012: 681.782.472

ПРОБЛЕМА ФОРМИРОВАНИЯ АДЕКВАТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ МОДЕЛИРУЕМОГО ПРОСТРАНСТВА В АВИАЦИОННЫХ ТРЕНАЖЕРАХ

¹⁾Потапова Г.К., ²⁾Москаленко М.А., ¹⁾Казенное предприятие «Центральное конструкторское бюро «Арсенал», г. Киев, Украина; ²⁾ЗАО «Научно-производственный концерн «Наука», г. Киев, Украина

Одним из основных требований к авиационным тренажерам является адекватность угловых координат α_V, β_V точек формируемого системой визуализации изображения, наблюдаемого из заданной точки, угловым координатам α_{PM}, β_{PM} соответствующих точек моделируемого пространства. Формирование такого адекватного изображения невозможно без коррекции неизбежно возникающих геометрических искажений.

Информация о геометрии имитируемого пространства, поступающая от моделирующей системы на генератор изображения, представлена координатами опорных точек геометрических примитивов. Каждый кадр изображения содержит миллионы точек, а формируется генератором изображения – по координатам десятков тысяч опорных точек. Существующие методы коррекции геометрических искажений сводятся к преобразованию по некоторому алгоритму координат точек изображения. Это часто приводит к снижению контраста и потере части информации.

Нами разработан новый метод коррекции геометрических искажений, обеспечивающий максимальную точность передачи угловых координат опорных точек моделируемого пространства при существенно меньших вычислительных затратах и без снижения контраста. Необходимые предыскажения первичного оптического изображения предлагается вводить путем искажений координат опорных точек геометрических примитивов моделируемого пространства перед передачей их в генератор изображения.

Метод основан на определении правила взаимного отображения моделируемого пространства в его изображение, формируемое системой визуализации и наблюдаемое из заданной точки. Этот метод обеспечивает адекватность видимого изображения моделируемому пространству, т.е. выполнение условия:

$$\begin{cases} \alpha_V = F_\alpha(\overline{F}_\alpha(\alpha_{PM}, \beta_{PM}), \overline{F}_\beta(\alpha_{PM}, \beta_{PM})) = \alpha_{PM}; \\ \beta_V = F_\beta(\overline{F}_\alpha(\alpha_{PM}, \beta_{PM}), \overline{F}_\beta(\alpha_{PM}, \beta_{PM})) = \beta_{PM}, \end{cases}$$

где F_α, F_β – функции преобразования координат точек моделируемого пространства в координаты их видимых изображений;

$\overline{F_\alpha}, \overline{F_\beta}$ – функции преобразования координат видимых изображений точек моделируемого пространства в координаты их прообразов.

Ключевые слова: авиационный тренажер, система визуализации, опорные точки, геометрические примитивы, коррекция геометрических искажений.

УДК 535.33

ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНАЯ АППАРАТУРА И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ В ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

¹Донец В.В., ¹Лихолит Н.И., ²Кочубей С.М., ¹Троицкий Е.Б., ¹Казенное предприятие «Центральное конструкторское бюро «Арсенал», г. Киев, Украина; ²Институт физиологии растений и генетики НАНУ, г. Киев, Украина

Спектральные методы для дистанционного зондирования поверхности Земли начали применяться почти с самого начала запуска искусственных спутников. С тех пор развитие спектральной техники и информационных технологий, связанных с ее использованием прошли большой путь. Тем не менее, и в настоящее время продолжается активная разработка этих направлений. На смену многозональным сканерам и спектрометрам с высоким спектральным разрешением с непрерывной разверткой спектра пришла аппаратура, так называемой, «изображающей спектроскопии» - *imaging spectroscopy*. Она основана на применении современных приемников излучения, таких как ПЗС-матрицы. Ее преимуществом является то, что соответствующая спектральная (дифракционная или Фурье) аппаратура позволяет получать одномоментно множественные изображения зондируемой поверхности в узких, порядка нескольких нм, спектральных интервалах без применения систем пространственного сканирования. В зависимости от ширины спектральных каналов и от их количества аппаратура классифицируется как мульти-, гипер- или ультраспектральная.

Известны приборы такого типа для аэробортовых и космических измерений, созданные в США, Канаде, Германии, Австралии, Италии, Бразилии, Финляндии, Швейцарии и Бельгии, Китае и России.

В Украине с участием сотрудников ЦКБ «Арсенал» создан гиперспектральный прибор наземного базирования, предназначенный для зондирования растительности. В отличие от зарубежной гиперспектральной техники наше оборудование является приборно-программным комплексом. Он снабжен оригинальным программным обеспечением, позволяющим в реальном масштабе времени получать ряд наиболее важных характеристик состояния растительности, например, содержание хлорофилла. Последний параметр можно измерять и для объектов, где отсутствует сплошное покрытие почвы растениями. Такого рода измерения представляют существенное затруднение в практике

мировых исследований и осуществляются нашей аппаратурой, благодаря разработанному нами специальному методу обработки спектральных данных.

В докладе рассмотрены особенности конструирования наземных и бортовых приборов гиперспектральной техники, а также проведено сравнение известных конструкции с точки зрения их технических и информационных возможностей. Показаны также технические характеристики нашего прибора и результаты его работы в полевых условиях.

Ключевые слова: гиперспектральный прибор, дистанционное зондирование.

УДК 536.48: 629.785

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ И ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА МНОГОЗОНАЛЬНОГО СКАНЕРА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*Агутин А.М., Ворох С.А., Лихолит Н.И., Троицкий Е.Б., Казённое предприятие
“Центральное конструкторское бюро “Арсенал”, г. Киев, Украина*

Отношение сигнал-шум на выходе устройства оцифровки сигнала об изображении земной поверхности является основной характеристикой качества обнаружения сигнала системами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса. Очевидным является факт, что чем больше превышение полезного сигнала над шумами, мешающими его регистрации, тем надежнее выделяется сигнал.

Главной задачей правильного расчета отношения сигнал-шум и динамического диапазона при проектировании систем ДЗЗ являются учет всех шумов, возникающих при получении цифрового сигнала об изображении, и выбор правдоподобной модели условий проведения съемки.

В докладе приводятся параметры оптической системы, характеристики компонентов тракта первичной обработки и оцифровки сигнала, характеристики атмосферы и подстилающей земной поверхности.

Излагается алгоритм расчета отношения сигнал-шум и динамического диапазона.

Дается описание модели информационного тракта.

Производится оценка шумов, возникающих при считывании сигнала с линейного ПЗС, первичной обработке сигнала и аналогово-цифровом преобразовании с учетом условий съемки.

Приводятся результаты расчета для двух вариантов построения многозонального сканера ДЗЗ среднего разрешения с фокусным расстоянием объектива 1200 мм без бинирования и с использованием режима бинирования, т.е. суммирования сигнала с двух соседних пикселей ПЗС.

В обоих вариантах используется фотоприемное устройство Linear Image Sensor LORAL CCD 191 и одинаковая элементная база электронного тракта первичной обработки и оцифровки сигнала.

Представлен анализ результатов расчета, сделан выбор варианта удовлетворяющего требованиям разработки, даны рекомендации по улучшению характеристик сканера, выработанные в ходе разработки методики.

Материалы доклада положены в основу создаваемых ЦКБ "Арсенал" сканеров ДЗЗ из космоса среднего и высокого разрешения.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, отношение сигнал-шум, динамический диапазон, Linear Image Sensor.

УДК 535.243:681.785.557

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ПРОПУСКАНИЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ СКАНЕРОВ

Донец В.В., Чичик П.Д., Соболев В.П., Донец Л.О., Милютин В.Н., Полежаев В.В., Казенное предприятие «Центральное конструкторское бюро «Арсенал», г. Киев, Украина

Нами разработан автоматизированный спектрофотометрический комплекс для измерения спектрального пропускания мультиспектральных сканеров в диапазоне 400-1000 нм и 1000-2000 нм с разрешением до 1 нм.

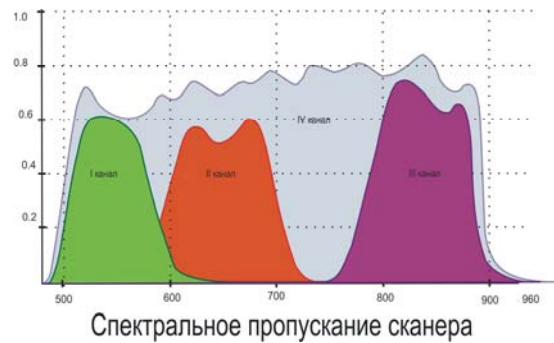
Особенностью конструкции является измерение коэффициентов спектрального пропускания (τ_λ) как сканера в целом, так и спектроделителя сканера, который имеет изломанную оптическую ось и представляет собой частично-поляризующее устройство. Измерения проводятся для разных углов заклона в поляризованном свете для двух ортогональных составляющих. Эти данные используются для расчета коэффициента пропускания каждого из каналов спектроделителя или сканера для естественного (неполяризованного) излучения, с которым работает сканер.

Измерительный комплекс выполнен на базе монохроматора МДР-23 со специализированными дифракционными решетками. Он состоит из отдельных оптико-механических узлов и электронных блоков. Для юстировки используется гелий-неоновый лазер. Блок поляризатора выполнен на базе поляризационной призмы Глана-Тейлора, имеющей возможность точного выставления угла ее поворота вокруг оптической оси. В качестве фотоприемных устройств использованы кремниевый диод “НАМАМАТСУ” и охлаждаемое фотоприемное устройство на базе фоторезистора на основе PbS.

Измерительный комплекс расположен на прибором столе с защитным кожухом. Рядом установлена электронная стойка с системой обработки и управления и ЭВМ.

Вычислительный блок (на базе внешней ЭВМ с библиотекой спектров) обеспечивает вычисление коэффициента пропускания каждого из каналов как для поляризованного, так и для естественного света, а также ряд дополнительных функций.

Прибор аттестован в УкрЦСМ. Погрешность измерений - не более $\pm 1\%$ для видимого диапазона и $\pm 1,5\%$ – для ИК-диапазона. Точность установки длины волны – 0,1 нм. С его помощью были выполнены измерения τ_λ сканеров спутников “EGYPSAT” и “СІЧ”. Характерные спектральные характеристики сканеров приведены на рисунке.



Ключевые слова: сканер, спектроделитель, спектральное пропускание.

УДК 543.812.08:63

ОПТИЧНИЙ ВИМІРЮВАЧ ВОЛОГОСТІ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ І ПРОДУКТІВ

Бородокін В.Г., Николаєнко Б.Л., Полєжаєв В.В., Чичик П.Д., Казенное підприємство «Центральное конструкторское бюро «Арсенал», г. Киев, Украина

Інтеграція України в економічні відносини з розвинутими країнами передбачає розв’язок низки принципових проблем, пов’язаних зокрема з визначенням норм якості товарної продукції та правил їх контролю в процесах переміщення продукції до споживача. Однією з таких норм є вологість, яка досить часто внаслідок впливу зовнішнього середовища може бути суттєво змінною величиною і тому вимагає таких правил контролю, рівні достовірності яких були б прийнятні, як для виробника так і для споживача. Враховуючи необхідність вирішення такої проблеми, КП “ЦКБ ”Арсенал” створило відповідний вимірювач вологості сипучих матеріалів і продуктів.

В доповіді розкриваються принцип дії та структура оптичної схеми вимірювача, який забезпечує визначення вологості з похибкою ($< 1\%$) співпадаючою з похибкою еталонного методу, зокрема зерна [1], при цьому порядок представництва контрольованого матеріалу збільшено в 10^4 разів.

Ключові слова: оптичний, вологість, похибка, представництво, контроль, сипучі матеріали.

Література

1. ГОСТ 13586.-93. ЗЕРНО. Метод определения влажности. Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и стандартизации. Минск.

УДК 543.082/.084

ОПТИЧНІ ВИМІРЮВАЧІ ВМІСТУ СУХИХ РЕЧОВИН І ЧИСТОТИ РІДКИХ ПРОДУКТІВ

Гришко В.Ф., Долина В.Г., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

В цукровому виробництві одними з найважливіших параметрів, точність і оперативність визначення яких впливають на ефективність ведення технологічного процесу, є вміст сухих речовин і чистота цукрових розчинів, що визначається відношенням вмісту цукру до загального вмісту сухих речовин у рідинах.

Визначення цих величин здійснюється, як правило, у лабораторних умовах за допомогою рефрактометрів та поляриметрів. Ці засоби контролю мають суттєві недоліки, пов'язані з необхідністю ретельної підготовки відібраних проб до вимірів та невизначеністю границі світла і тіні у оптичних перетворювачах. В умовах автоматизації технологічних процесів цукрового виробництва актуальним є створення автоматичних вимірювачів вмісту сухих речовин і чистоти рідких продуктів на основі нових принципів і методів перетворення зазначених фізичних величин.

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження проходження оптичного випромінювання через циліндричні елементи дозволили запропонувати новий рефрактометричний спосіб визначення показника заломлення рідин з використанням прозорого порожнистого циліндру [1] та створити математичні моделі оптичних первинних перетворювачів рефрактометрів на основі прозорих порожнистих циліндрів [2].

Конструктивні особливості розробленого первинного перетворювача вмісту сухих речовин дозволяють також, використовуючи діелектричні властивості цукрових розчинів, реалізувати функцію вимірювання вмісту цукру у розчинах і, відповідно, чистоту цукрових рідких продуктів.

Чистоту цукрових розчинів визначають шляхом одночасного вимірювання показника заломлення, діелектричної проникності та температури рідких середовищ, що знаходяться у чутливому елементі - прозорому порожнистому циліндрі, закріпленому між двома електродами.

На основі запропонованих способів реалізовані експериментальні зразки автоматичних рефрактометрів та вимірювачів чистоти рідких продуктів, які пройшли експлуатаційні випробування на цукрових заводах України.

Ключові слова: цукрові розчини, вміст сухих речовин, чистота, оптичні перетворювачі

УДК 681.7

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИНЕЙНОГО ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА

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

В работе предложена методика определения коэффициентов линейного цифрового фильтра, который является оптимальным с точки зрения максимизации пространственной разрешающей способности оптического микроскопа с цифровой камерой для считывания изображения. Сущность предлагаемой методики заключается в том, что оптимальная форма функции передачи модуляции оптико-электронного тракта оптического микроскопа определяется из условия максимального контраста изображений точечных источников излучения при заданном линейном расстоянии между этими источниками. При этом рассматривается наихудшая комбинация факторов, которые влияют на пространственную разрешающую способность – наличие шумов, наличие краевых осцилляций, изменение формы функции рассеяния точки при варьировании функции передачи модуляции. В качестве целевой функции выбрана зависимость вероятности распознавания двух точечных источников от параметров оптической системы микроскопа, параметров цифровой камеры и матрицы коэффициентов цифрового фильтра. В качестве варьируемых параметров выбран набор показателей задающих форму функции передачи модуляции как монотонной функции, форма которой меняется от дельта-функции до единичной функции в пределах полосы пропускания. Полученные теоретические результаты показывают, что при правильном задании коэффициентов линейного цифрового фильтра пространственная разрешающая способность может быть увеличена на 10% – 15%.

Ключевые слова: оптический микроскоп, цифровой фильтр, пространственная разрешающая способность, шум.

УДК 681.7

ИЗМЕРИТЕЛЬ НАНОПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПО СХЕМЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА РОНКИ

Горб П.В., Боровицкий В.Н., Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

Для точного измерения малых линейных перемещений обычно используют оптические методы. Наиболее точными и чувствительными на сегодняшний день являются интерференционные приборы, которые обеспечивают точность измерения до единиц нанометров. Однако интерферометры являются сложными, дорогостоящими измерительными приборами, требующими изоляции от вибраций. Поэтому с развитием нанотехнологий появилась необходимость создания устройства для измерения наноперемещений, свободного от недостатков классических интерферометров.

Для воплощения этой идеи предлагается применить схему Ронки. Тест Ронки применяется для оценки качества объективов и позволяет с большой точностью оценить aberrации вносимые объективом. Высокая точность данного метода позволила разработать задуманный измеритель перемещения. В основе

идеи данного прибора лежит измерение пространственной частоты освещенности в интерференционной картине, получаемой при пересечении двух сферических волновых фронтов. Измерение параметров интерференционной картины позволяет восстановить информацию о перемещении объектов с точностью, которая существенно меньше длины волны.

Полученные результаты компьютерного моделирования и макетирования показывают, что предлагаемая схема интерферометра является перспективной и экономичной.

Ключевые слова: интерферометр, измерение перемещений, пространственная частота.

УДК 621.316

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛОВ В ЛАЗЕРНЫХ ИМИТАТОРАХ СТРЕЛЬБЫ

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

Использование лазерных имитаторов стрельбы из индивидуального стрелкового оружия позволяет существенно сократить расходы на обучения стрельбе, улучшить навыки стрельбы в разных условиях, получить подробную информацию о результатах стрельбы. В работе предлагается инженерная методика расчета вероятностных характеристик, таких как отношение правдоподобия, вероятность правильного срабатывания имитатора стрельбы, вероятность пропуска сигнала и вероятность ложной тревоги.

Предложенная методика позволяет учесть влияние энергетических потерь в оптико-электронном тракте, в том числе из-за конечных размеров апертур излучающего и приемного каналов, генерацию шумов при детектировании оптического излучения, погрешностей, возникающих при аналого-цифровом преобразовании сигналов.

Данная методика может быть использована при проектировании лазерных имитаторов стрельбы, в частности для обоснования выбора лазерного источника излучения и фотоприемного устройства. В работе представлено описание макета лазерного имитатора стрельбы, при проектировании которого была использована разработанная методика.

Ключевые слова: лазерный имитатор стрельбы, проектирование, вероятностные характеристики, отношение правдоподобия, шумы.

УДК 621.316

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКЕ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРАХ

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

На кафедре оптических и оптико-электронных приборов подготовлен новый лабораторный практикум для обучения студентов третьего курса применению однокристальных микроконтроллеров серии Atmel AVR в оптико-электронных приборах. Практикум включает 8 лабораторных работ, из которых 4 работы посвящены программированию в среде AVR Studio и 4 работы основаны на изучении макетов цифровых блоков оптико-электронных приборов.

Работы по программированию в среде AVR позволяют студентам освоить полный цикл разработки несложного программного обеспечения для выполнения математических вычислений, организации параллельного и последовательного ввода-вывода данных, управления такими устройствами микроконтроллера как таймер и аналого-цифровой преобразователь.

Для получения практических навыков используются 4 макета, имитирующие работу отдельных блоков оптико-электронных приборов: цифровой блок управления шаговым двигателем, цифровой блок считывания аналогового сигнала с фотоприемника, цифровой блок считывания сигнала с цифрового фотоприемного устройства, цифровой генератор сигналов с использованием широтно-импульсной модуляции, цифровой блок управления клавиатурой и светодиодами индикаторами.

При выполнении лабораторных работ студентам предоставляется возможность самостоятельно спроектировать и изготовить макет цифрового блока, написать и протестировать для него программное обеспечение, убедиться в работоспособности собственной разработки.

Лабораторный практикум подкреплен методическими разработками, которые заблаговременно рассылаются студентам по электронной почте. Студенты отмечают, что предложенный лабораторный практикум благодаря его практической направленности существенно повышает возможности трудоустройства по специальности.

Ключевые слова: однокристальный микроконтроллер, программирование, оптико-электронный прибор, лабораторный практикум.

УДК 528.7:629.78

АНАЛИЗ ЗАДАЧ ВИЗУАЛЬНОГО ПОИСКА И РАСПОЗНАВАНИЯ

Микитенко В.И., Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

Развитие оптико-электронных систем (ОЭС) визуального наблюдения (ВН) в настоящее время формируется под воздействием двух основных тенденций –

повышения требований к эффективности поиска и распознавания, а также существенного увеличения номенклатуры ОЭС при снижении их стоимости.

В соответствии с этими тенденциями одним из главных направлений повышения эффективности функционирования системы «ОЭС – наблюдатель» является комплексирование информации о визируемом пространстве от ОЭС различных типов. При этом следует учитывать, что простое увеличение количества ОЭС в системе ВН не приведет к эквивалентному улучшению качества ее работы, более того в ряде случаев возможно снижение качества. Для адекватного комплексирования важно правильно выбрать типы используемых ОЭС. Этот выбор определяется видом фоно-целевой обстановки, типом и контекстом решаемой наблюдателем задачи, условиями работы, экономическими соображениями.

Несмотря на существующую практику использования при оценке ВН значительного количества стадий визуального восприятия, установленные с достаточной достоверностью психофизиологические аспекты зрительного восприятия позволяют при описании выполнения человеком зрительных задач оперировать двумя понятиями – «поиск/обнаружение», «распознавание».

Алгоритмы работы зрительной системы и релевантные признаки объектов на этих этапах существенно различаются: при поиске/обнаружении важно превышение величины какого-либо параметра воспринимаемого изображения над средним уровнем, при распознавании включаются сложные механизмы анализа многомерного изображения, которые в значительно большей степени зависят от индивидуальных свойств наблюдателя.

Доклад посвящен разработке методов выбора и оптимизации состава многоканальных ОЭС ВН с комплексированием информации на основе анализа зрительного восприятия при поиске/обнаружении и распознавании объектов на плоских изображениях. Рассмотрены все современные ОЭС активного и пассивного типов, различные виды фоно-целевой обстановки. Очерчен круг основных задач, которые должны быть решены при разработке методов комплексирования на различных уровнях: на уровне датчиков, на уровне обобщенных параметров, на уровне принятия решений и предложен обобщенный механизм решения этих задач.

Ключевые слова: комплексирование изображений, обзорно-визирные оптико-электронные системы, зрительное обнаружение и распознавание.

УДК 621.382

ОЦІНКА ЯКОСТІ КОМПЛЕКСУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ В БАГАТОКАНАЛЬНИХ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМАХ

Микитенко В.І., Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

Для оцінки якості візуальних зображень використовують два класи методів –

суб’єктивні експертизи та об’єктивні оцінки. Методики суб’єктивних вимірювань найбільш універсальні і дозволяють адекватно оцінювати ефективність зображуючих оптико-електронних систем (ОЕС). Але вони працюють лише з існуючими системами і, на відміну від об’єктивних методів, мало придатні для проектування ОЕС. Таким чином, при синтезі нових зображуючих ОЕС користуються різними об’єктивними методиками оцінки якості систем, котрі створюються на базі математичних моделей конкретних ОЕС. У випадку сумісного використання в складі єдиної ОЕС кількох окремих каналів виникає необхідність оцінки якості вихідного комплексного зображення. При цьому крім математичних моделей окремих каналів необхідно враховувати алгоритм комплексування, що за умови різних форматів сигналів і механізмів їх утворення значно ускладнює задачу оцінки якості.

В доповіді розглянуті можливі підходи до об’єктивної оцінки якості комплексування зображень в багатоканальних ОЕС. Найпростіші методики дозволяють визначати суттєві характеристики в зображеннях, наприклад, відношення сигнал/шум, динамічний діапазон, просторово-частотний склад тощо. Такий інтегрований підхід не дає можливості оцінити вплив окремого каналу або алгоритму комплексування на кінцевий результат. Більш складні інтегровані способи передбачають врахування особливостей зорового сприйняття людини, але вони також не можуть бути основою інструментарію для аналізу та синтезу багатоканальних ОЕС. Натомість методики відносної оцінки, які враховують і співвідносять параметри кожного каналу, дозволяють більш адекватно визначити ефективність всіх схемотехнічних і алгоритмічних рішень в ОЕС.

Запропонована гнучка методика математичного моделювання з використанням універсальних специфікацій опису модулів комплексу «об’єкт – ОЕС – спостерігач». Одним з основних елементів цієї методики є механізм диференційного оцінювання споживчої якості візуальної інформації в окремих каналах, який дозволяє не тільки порівнювати інформативність каналів, але й прогнозувати ефективність застосування розроблених методик комплексування інформації.

Ключові слова: комплексування візуальної інформації, багатоканальні оптико-електронні системи, якість зображень

УДК 621.382

РОЗРАХУНОК МОЖЛИВИХ ЗНАЧЕНЬ ЕНЕРГІЇ ТА ЙМОВІРНОСТІ ПЕРЕХОДУ МІЖ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ РІВНЯМИ АТОМІВ ЛУЖНИХ МЕТАЛІВ

Слободяник А.Д., Зузяк П.М., Коваль С.Т., ВНТУ, м. Вінниця, Україна

Проблема створення перетворювачів частоти видимого випромінювання в інфрачервоний діапазон та навпаки відома з класичних робіт лінійної оптики.

На сучасному етапі розвитку теорії випромінювання широко обговорюється можливість використання послідовних взаємодій, що відбуваються в середовищі з квадратичною нелінійністю в полі загальної хвилі накачки в умовах квазісинхронних взаємодій.

В даній роботі доведена можливість перетворення енергії видимого випромінювання атомів водню в енергію інфрачервоного діапазону. Основна ідея сучасних частотних перетворювачів випромінювання базується на резонансній оптичній накачці парів лужних металів, які є ефективними робочими середовищами для генерації видимого і ІЧ випромінювання.

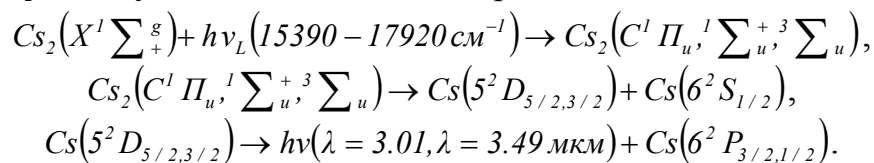
Квантова теорія випромінювання атома дозволяє розрахувати можливі значення енергії та переходи між енергетичними рівнями.

Рівняння Шредінгера, що описує стан атома для випадку нерухомого ядра має вигляд:

$$\nabla_r^2 R + \frac{2m_0}{\hbar^2} \left(E + \frac{Ze_0^2}{r} - \frac{\hbar^2 l(l+1)}{2m_0 r^2} \right) R = 0,$$

де $V_{ef} = -\frac{Ze_0^2}{r} + \frac{\hbar^2 l(l+1)}{2m_0 r^2}$ - ефективна потенціальна енергія електрона.

Виникнення інфрачервоного випромінювання в парах цезію при опроміненні їх потужним лазерним випромінюванням обумовлюється тільки поглинанням молекулами Cs_2 і відбувається за таким алгоритмом:



Таким чином, квантова теорія випромінювання воднеподібних атомів та атомів лужних металів дозволяє здійснювати заселення верхніх атомних рівнів, що зумовлює інверсне заселення відносно нижче розміщених енергетичних рівнів.

Отримані результати можуть бути застосовані при розробці високоефективних перетворювачів видимого випромінювання в інфрачервоний діапазон.

Ключові слова: частотний перетворювач, випромінювання атомів, ймовірність переходу.

УДК 681.7.013.8

ИСПРАВЛЕНИЕ ИСКАЖЕНИЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ, ВЫЗВАННЫХ НЕРАВНОМЕРНОСТЬЮ ОСВЕЩЕННОСТИ

*Агалиди Ю.С., Левый С.В., Мачнев А.М., Национальный технический университет
Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина*

В оптических системах могут иметь место искажения распределения освещённости изображения, обусловленные ограничением пучков лучей. В таких

системах (обладаючих просторовими неоднородностями передаточної функції), походять порушення розподілення яркості і контраста зображень, що ускладнює їх дослідження і обробку.

Математичну модель амплітуди (яркості) введеного кадра можна записати так:

$$A(i, j) = S(i, j) \cdot M(i, j) + N(i, j), \quad i=0 \dots I-1; j=0 \dots J-1; I, J - \text{розміри зображення.}$$

Амплітуда інформативного сигналу $S(i, j)$ промодульована деякою функцією $M(i, j)$. $N(i, j)$ – адитивний, некоррелиований шум, нормально розподілений з параметрами $(0, \sigma^2)$. Функція $M(i, j)$ не залежить від сигналу $S(i, j)$, а визначається тільки особливостями побудови оптичної схеми. Для демодуляції необхідно знайти оцінку функції $M(i, j)$ і виконати множення введеного сигналу на обернену функцію $M^{-1}(i, j)$.

Один із варіантів рішення цієї задачі – апроксимація згасаючої з допомогою полінома степені K :

$$M_{1_env}(i, j) = \sum_{k=0}^K a_k i^k j^{K-k} + a_{K+1}$$

Для визначення коефіцієнтів полінома треба розв'язати оптимізаційну задачу – мінімізацію середньквдратичного відхилення амплітуди зображення $A(i, j)$ від оцінки згасаючої $M_{1_env}(i, j)$, що призводить до рішення системи лінійних рівнянь.

Іншим варіантом – обчислення оцінки $M(i, j)$ – свертка матриці зображення з прямокутним вікном (сглаживання):

$$M_{2_env}(i, j) = \frac{1}{(n+1)(m+1)} \sum_{\mu=i-n/2}^{i+n/2} \sum_{\lambda=j-m/2}^{j+m/2} A(\mu, \lambda) \cdot W(\mu, \lambda),$$

де $W(\mu, \lambda)$ – функція зважуючого вікна, для прямокутного вікна $W(\mu, \lambda) \equiv 1$; n, m – розмір вікна сглаживання.

Для оцінки оптимальних розмірів (n, m) вікна сглаживання в умовах адитивного шуму пропонується мінімізувати функціонал:

$$Err_m(x) = (M_{1_env}(x) - M_{2_env}(x))^2 + \frac{\delta^2}{(n+1)(m+1)}.$$

Представлений метод дозволяє оптимізувати оцінку нерівномірності освітленості і обчислювальні витрати по корекції отриманого зображення.

Ключові слова: обробка, зображення, вирівнювання яркості.

УДК 531.719+ 621.373

МОДЕЛЮВАННЯ ДАТЧИКА РАССТОЯНИЙ НА ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ ДИОДЕ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Манак И.С., Белявский В.С., Белорусский государственный университет,

г. Минск, Беларусь

При импульсном методе расстояние до объекта определяется по задержке прихода отраженного сигнала относительно момента излучения светового импульса: $D=vt/2=ct/2n$, где D – измеряемое расстояние, t – время задержки импульса на дистанции, c – скорость света в вакууме, n – показатель преломления в среде.

Пиковая мощность излучения лазерного диода (ЛД) может быть значительно выше, чем при возбуждении на постоянном токе, что обеспечивает больший радиус действия импульсного светодальномера (ИСД) как в случае отражения сигнала от произвольных целей, так и при применении ретроотражателей. Все возрастающие требования к точности измерений расстояний до объектов привели к необходимости укорочения излучаемых ЛД импульсов (до значений порядка пикосекунд), что достигается в ИЛ с насыщающимся поглотителем в резонаторе. Такие ЛД создаются при бомбардировке полупроводниковых гетероструктур высокоэнергетическими частицами через одно из зеркал резонатора, при этом у зеркала формируется слой аморфизированного полупроводника толщиной ~ 10 нм. Широкие возможности открываются при реализации режима модуляции добротности резонатора в ЛД на многослойных асимметричных квантоворазмерных гетероструктурах.

Использование пороговых устройств для измерения временных интервалов в ИСД делает актуальным учет джиттера импульсов излучения ЛД в ближней зоне и его влияние на точность измерений D . Задержки начала генерации в ЛД определяются соотношением $t_{\text{зад}} = \tau_{cn} \ln(I/(I - I_{\text{пор}}))$, где τ_{cn} – спонтанное время жизни неравновесных носителей заряда (ННЗ), I и $I_{\text{пор}}$ – ток накачки и пороговое значение тока соответственно, а $P = P_0(1 - \exp(-t/\tau_n))$, где P – значение мощности излучения ЛД в момент времени t , P_0 – установившееся (максимальное) значение P , τ_n – полное время жизни ННЗ.

Любой из факторов, приводящий к вариациям значений τ_n , τ_{cn} , I и $I_{\text{пор}}$ в активной области ЛД, ответственен за формирование неоднородной пространственно-временной структуры (ПВС) излучения в ближней зоне.

В работе анализируется модификация ПВС в дальней зоне излучения ЛД с телом свечения конечной длины от размеров и параметров объекта, ретроотражателя, способа фиксации временного интервала, режима работы ЛД. Сделаны выводы о взаимосвязи ПВС и точности измерения расстояний импульсными светодальномерами.

Ключевые слова: лазерный диод, джиттер импульсов, импульсный светодальномер, время жизни носителей, модуляция добротности.

УДК 531.719+ 621.373

ВЫСОКОТОЧНЫЙ ДАЛЬНОМЕР НА ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ ИСТОЧНИКЕ С МОДУЛЯЦИЕЙ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ДВУХ ДАЛЕКО РАЗНЕСЕННЫХ ЧАСТОТАХ

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

При конструировании малогабаритных фазовых светодальномеров (ФСД) предпочтительно использовать полупроводниковые источники когерентного и некогерентного излучения.

Лазерные диоды (ЛД) по сравнению с другими изделиями квантовой электроники обладают рядом преимуществ: простотой устройства, компактностью, сопрягаемостью с другими элементами полупроводниковой электроники, большим сроком службы, малой инерционностью, высокой эффективностью преобразования подводимой электрической энергии в излучение, легкостью перестройки длины волны излучения изменением внешних условий. Тела свечения в зависимости от типа излучателя, конструктивных и технологических особенностей (светодиоды, лазеры с широким омическим контактом, с полосковым контактом, с зарощенной гетероструктурой, с поверхностным выводом излучения и т. д.) могут варьироваться в широких пределах: от единиц миллиметров до единиц микрон. При установке такого излучателя в фокальной плоскости передающего объектива дальномера на дистанцию поступает расходящийся пучок излучения, который в дальней зоне на расстоянии, например, 1 км дает пятно порядка 1 м. Чем больше размеры $p-n$ перехода, тем большей неоднородностью пространственно-временной структуры (ПВС) излучения ЛД характеризуются при прочих равных условиях.

Вариации фазы модуляции излучения в ближней зоне ЛД определяются наличием в полупроводнике локальных областей с различными временами жизни неравновесных носителей заряда (ННЗ), которые в свою очередь зависят от нарушений стехиометрического состава, неравномерности в распределении примесей, дефектов структуры, дислокаций, от неодинакового уровня возбуждения отдельных участков активной области и т.д.

Задержка фазы модуляции излучения ЛД дается соотношением: $\varphi = \arctg(-\omega\tau_n)$, где ω – частота модуляции, а τ_n – полное время жизни ННЗ.

Построены физическая и математическая модели ФСД, выявлена взаимосвязь ПВС излучения ЛД в дальней зоне с геометрическими размерами передающего и приемного объективов и отражателя, а также светящейся области в ближней зоне полупроводникового источника излучения.

Предложен фазовый дальномер с двумя далеко разнесенными частотами модуляции излучения и устранением неоднозначности на каждой из частот, который позволяет учесть вариации фазы модуляции и повысить точность измерения расстояний.

Ключевые слова: вариации фазы, фазовый светодальномер, частота модуляции, точность измерений.

УДК 621.373.8

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЕ ОБРАЗЦОВОЕ СРЕДСТВО ИЗМЕРЕНИЙ НА

ЛАЗЕРНОМ ДИОДЕ СО СТАБИЛЬНЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

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

Несмотря на уникальность некоторых свойств инжекционных лазеров (ИЛ) они используются для решения метрологических задач, как правило, в качестве рабочих и образцовых средств измерений. По мере развития современных технологий изготовления ИЛ расширяется сфера применения их в различных метрологических приложениях. Это прежде всего обусловлено их энергетическими и временными характеристиками, которые в большинстве случаев по своей воспроизводимости не достигаются в других источниках излучения. При этом высокий КПД ИЛ позволяет избежать вредного влияния энергии накачки, расходуемой на разогрев лазерного кристалла.

Стабильность энергетических характеристик ИЛ является основным критерием их эффективного применения в измерительной технике, в частности, в технике измерения параметров лазерного излучения.

Развитие энергетической фотометрии предъявляет к стабильности мощности излучения ИЛ новые требования, которые невозможно удовлетворить без принятия специальных мер. При использовании лазерных диодов (ЛД) в качестве эталонных необходимо применять обратную фотоэлектрическую отрицательную связь, которая позволяет существенно снизить нестабильность мощности излучения (до 10^{-2} – 10^{-1} %) даже без стабилизации условий эксплуатации.

Повышению метрологической надежности ЛД способствует стабилизация тока накачки, температуры кристалла, давления, электрических и магнитных полей, устранение внешних фоновых засветок.

Для реализации образцового средства измерений, представляющего собой источник модулированного в радиодиапазоне излучения одинаковой амплитуды, необходимо выбрать необходимый режим питания источника.

Для изучения переходных характеристик приемников излучения, распределения джиттера по фотоприемной площадке необходимы оптические сигналы малой длительности с крутыми фронтами, которые могут быть сформированы ИЛ, прежде всего лазерами с насыщающимся поглотителем в резонаторе, при возбуждении их импульсами наносекундной длительности. В специфическом режиме проведения измерений можно использовать для аттестации приемников излучения инжекционные лазеры с насыщающимся поглотителем в резонаторе, возбуждаемые постоянным током.

В работе приведены функциональные схемы устройств для аттестации источников и приемников излучения, в которой в качестве образцового средства измерения использован источник высокостабильного излучения с широкой динамикой изменения энергетических и временных (модуляционных) характеристик.

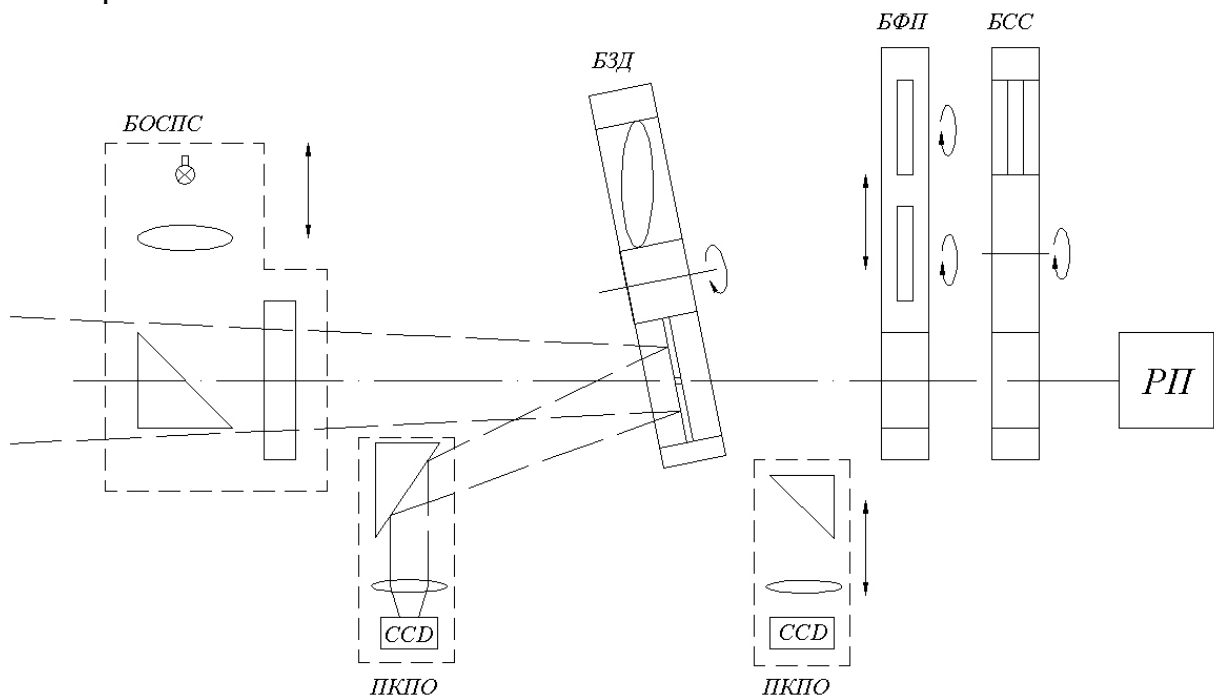
Ключевые слова: инжекционный лазер, образцовое средство измерений, быстроедействие, стабильность, приемник излучения, джиттер.

УДК 535.5:621.38

УНІФІКОВАНИЙ ОПТИКО-МЕХАНІЧНИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ АСТРОНОМІЧНИХ ПРИЛАДІВ

*Відьмаченко А.П., Іванов Ю.С., Неводовський Є.П., Головна астрономічна обсерваторія
НАН України, м. Київ, Україна*

В астрономічній практиці основними традиційними приладами для досліджень небесних тіл в оптичному діапазоні є фотометри, спектрометри, поляриметри та їх комбінації. Усі вони мають декілька спільних вузлів однакового функціонального призначення. Об'єднавши їх можна отримати уніфікований оптико-механічний модуль. Додавши до нього дисперсійну чи поляризаційну частину та відповідний приймач світла, будемо мати астрономічний прилад необхідного призначення.



БОСПС – блок опорного спектро-поляриметричного стандарту, БЗД – блок змінних діафрагм, БФП – блок фазових пластинок, ПКПО – пристрій контролю положення об'єкта, БСС – блок спектральної селекції, РП – реєструючий пристрій

Рисунок 1 – Функціональна схема уніфікованого оптико-механічного модуля

Ключові слова: фотометр, спектрометр, поляриметр уніфікований оптико-механічний модуль.

УДК 623.4.053.5:004.69

СПОСОБ РАСШИРЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДНЕВНО-НОЧНОГО ПРИБОРА НАБЛЮДЕНИЯ

Гордиенко В.И., Власюк В.В., Мазурин И.В., Охрименко А.Г., Семенов В.А., НПК «Фото-прибор», г. Черкассы, Украина

Появление новой элементной базы и ее доступность позволяют модернизировать приборы, разработанные несколько десятилетий назад и до настоящего времени находящиеся в эксплуатации.

При модернизации приходится решать следующие задачи:

- повышать технические характеристики модернизируемых приборов;
- расширять их функциональные возможности;
- сохранять габаритные и пристыковочные размеры.

Ниже рассмотрен реализованный вариант модернизации дневно-ночного прибора, в котором за счет применения новой элементной базы увеличена его дальность действия и расширены функциональные возможности путем дополнительного введения канала лазерного дальномера при обеспечении заданных габаритных и пристыковочных размеров.

Дневно-ночной прибор ПНК-4С, который подлежал модернизации, содержал визуальный канал с кратностью увеличения 8, полем зрения 8° и ночной канал на электронно-оптическом преобразователе 1-го поколения с кратностью увеличения 5 и полем зрения 8° . Оба канала были стабилизированы в пространстве в вертикальной плоскости с помощью гиросtabilизированного зеркала.

Спектральный диапазон работы каналов следующий:

- дневной канал – 0,4-0,7мкм;
- ночной канал – 0,5-0,85мкм.

Различные спектральные работы каналов позволили разместить в модернизируемом приборе приемный и передающий каналы лазерного дальномера, работающего на длине волны 1,06мкм. Причем приемный канал дальномера совмещен путем спектрального разделения с ночным каналом, в котором использован электронно-оптический преобразователь поколения 2+, а передающий канал также путем спектрального разделения совмещен с дневным каналом.

Дальность работы ночного канала выросла на 15% и составила 800м, а лазерный дальномер обеспечил измерение дальности в диапазоне 400÷10000м с погрешностью не более 10м.

Прибор прошел заводские испытания, испытания в составе комплекса и показал эффективность предложенного способа расширения функциональных возможностей дневно-ночного прибора наблюдения.

Ключевые слова: модернизация дневно-ночного прибора

УДК 681.7.067.22

ДЕФЛЕКТОРНАЯ СИСТЕМА СКАНИРОВАНИЯ С ВАРЬИРУЕМЫМ РАЗМЕРОМ СКАНИРУЮЩЕГО ПЯТНА

Трофимук А.А., Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

В последние годы наблюдается стремительное внедрение различных видов устройств управления лазерным излучением в оптические системы и приборы.

Традиційною областю застосування комерційних пристроїв управління лазерним випромінюванням є відхилення лазерних пучків, сюди належать пристрої, що використовуються для технологічних цілей (лазерна маркування і гравірування, різка, сверління і т.п.), медицині (в офтальмології, дерматології), в системах розв'язки зображення, в двох і трьохмерних вимірних системах, в лазерних системах для шоу-ефектів.

В системах лазерної гравірування і маркування для різних застосувань вимагається різний розмір скануючого плями.

В роботі розглядається скануючий f-theta об'єктив плоского поля розміром 300x300 мм, що працює на довжину хвилі 1.0641 мкм (твердотільний YAG-лазер) і панкратичний коліматор, що дозволяє змінювати апертуру пучка на вході об'єктива в межах 10 – 28 мм (при діаметрі лазерного пучка 2 мм), при лінійному переміщенні компонентів. Відповідно змінюється розмір скануючого плями.

Параметри об'єктива: фокусна відстань – 492.84 мм, кут сканування ± 25 градусів, робочий відрізок – 581 мм, розмір скануючого плями – 16 мкм, вхідна апертура – 32 мм, відхилення від f-theta закону – 0.02%, кількість компонентів 5.

Параметри панкратичного коліматора – збільшення $5\times - 14\times$, кількість компонентів – 6. Також панкратичний коліматор дозволяє регулювати розходимость гауссова пучка.

Відхилення лазерного пучка здійснюється за допомогою двох дзеркал на гальванометричних дефлекторах, розташованих поблизу вхідного зрачка, таким чином, щоб мінімізувати вплив повороту дзеркал на характеристики вхідного пучка і відповідно на відхилення f-theta дисторсії від розрахункової.

Ключові слова: f-theta об'єктив, коліматор, сканер, маркування, дефлектор.

УДК 681.327.66:621.38

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕННЯ ТА ТИПУ ДИСПЛЕЯ НА РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ ОБ'ЄКТА ОГЛЯДОВОЮ ТЕЛЕВІЗІЙНОЮ СИСТЕМОЮ

Гаврилюк А.І., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Оглядові телевізійні системи (ОТС) застосовують при вирішенні завдань виявлення та розпізнавання об'єктів у військовій справі, космічних дослідженнях та при охороні об'єктів.

Основними елементами ОТС є: оптична система (ОС), матричний приймач випромінювання (МПВ), електронна система обробки зображення (ЕС) та дисплей. Звичайно ОС представляє собою варіооб'єктив з великим просто-ровим

та енергетичним розділенням, а МПВ – прилад з зарядовим зв'язком з високою чутливістю, роздільною здатністю та малими внутрішніми шумами.

ЕС може бути двох типів: ЕС1 – підсилювач відеосигналу, аналоговий блок обробки вихідного зображення; ЕС2 – підсилювач відеосигналу, пристрій захвату відеосигналу, прилад комп'ютерної обробки відеоінформації. Найбільш поширені дисплеї на електронно-променевої трубіці (ЕПТ) та на рідких кристалах (РКД).

На сьогодні РКД має ряд переваг перед дисплеями на ЕПТ: висока просторова роздільна здатність, яскравість та контрастність екрану, відсутність геометричних спотворень зображення, малі масо-габаритні характеристики.

Виявити та розпізнати зображення об'єкта, що передається ОТС можна за допомогою спеціального алгоритму у вигляді комп'ютерної програми (автоматична ОТС, ЕС2) або за допомогою візуального спостереження оператора за зображенням об'єкта (візуальна ОТС, ЕС1 або ЕС2).

Вирішення задач виявлення та розпізнавання зображення візуальних ОТС залежить від якості зображення на екрані дисплея, яке оцінює оператор. Для автоматичних систем зображення представляє собою масив даних, тому оцінку цих даних можна провадити безпосередньо аналізуючи сигнал з виходу аналого-цифрового блоку, а дисплей використовувати як інформаційне поле для виводу зображення об'єкта та службової інформації (результат вирішення задач виявлення та розпізнавання).

В процесі дослідження розпізнавання зображення об'єкта ОТС зібрано експериментальну установку з моделюванням візуальної та автоматичної ОТС з різними типами дисплеїв – на ЕПТ та РКД. При візуальному розпізнаванні зображення об'єкта кращий результат показала ОТС з РКД. Автоматична ОТС краще розділяє дрібні елементи об'єкта ніж візуальна система, але розпізнавання зображення об'єкта досить в значній мірі залежить від алгоритму комп'ютерної програми обробки зображення.

Ключові слова: оглядові телевізійні системи, дисплей, розпізнавання об'єктів.

УДК 528.7:629.78

ОПТИЧНІ СИСТЕМИ УСТАНОВОК ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БАГАТОЕЛЕМЕНТНИХ ПРИЙМАЧІВ ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА ПРИСТРОЇВ НА ЇХ ОСНОВІ

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

За останній час значно збільшився інтерес до оптико-електронних систем дистанційного зондування Землі із космосу, що дозволяв би ефективно вирішувати ряд наукових та прикладних задач. Основою сучасного комплексу космічних систем дистанційного зондування Землі являється багатозональний скану-

ючий пристрій (БСП) високого розділення. Обов'язковою є передлітакова атестація енергетичних характеристик БСП контрольною апаратурою. Така вимірювальна апаратура містить схему для вимірювання енергетичних характеристик та переносу одиниці спектральної густини енергетичної яскравості (СГЕЯ) та схему для вимірювання функції передачі сигналу. Точність цих схем залежить від оптичних систем (ОС), які будуть встановлені в дані схеми. В даній роботі було зроблено підбір ОС, їх структурний синтез, габаритний розрахунок та абераційний аналіз (із врахуванням кутових положень цих систем у заданих схемах). Абераційний аналіз був зроблений за допомогою спеціалізованої комп'ютерної програми «ZEMAX».

У схемі для вимірювання функції передачі сигналу застосовується колімаційний об'єктив. Враховуючи всі вимоги, щодо ОС колімаційного об'єктиву даної схеми, отримані результати структурного синтезу показали, що оптимальним вибором ОС є дзеркальні об'єктиви, виконані по схемі Гершеля зі сферичною та параболічною поверхнями. Вихідні дані для габаритного розрахунку: фокусна відстань об'єктиву 1400 мм, поле зору 7° , відносний отвір 1:6, спектральний діапазон довжин хвиль 0,4...1,8 мкм. Габаритний розрахунок визначив діаметр об'єктиву (232 мм), положення від предмета до об'єктиву (1400 мм). Положення до зображення довільне. Для абераційного аналізу обох схем були використані дані габаритного розрахунку та проведено дослідження на величини аберацій при кутовому положенні об'єктивів $0^\circ \dots 14^\circ$ (з інтервалом 2°). Було розглянуто залежність плями розсіювання від кута нахилу дзеркала на рівні 0,9 від функції розсіювання точки (ФРТ), аналіз коми та аналіз сферичної аберації (по Spot діаграмам). По результатам побудовано графіки в залежності від кута нахилу дзеркала та зроблено висновок, що оптимальний кут нахилу для сферичного та параболічного (асферичного) дзеркала колімаційного об'єктиву 10° - 14° , щоб середнє квадратичне відхилення хвильового фронту, кома та функція концентрації енергії (ФКЕ) приймали допустимі (мінімальні) значення. Сферичне дзеркало найбільш вигідне для використання у ролі колімаційного об'єктиву, ніж параболічне. Сферичне дзеркало не поступається ні в значенні коми, ні в значенні сферичної аберації, ні в значенні ФКЕ.

У схемі для вимірювання енергетичних характеристик та переносу одиниці СГЕЯ застосовується проєкційний об'єктив. Враховуючи всі вимоги, щодо ОС проєкційного об'єктиву, отримані результати структурного синтезу показали, що оптимальними ОС є дзеркальні об'єктиви, виконані також по схемі Гершеля зі сферичною та параболічною поверхнями. Вихідні дані для габаритного розрахунку аналогічні колімаційному об'єктиву, діаметр об'єктиву (232 мм), положення від предмета до об'єктиву (2100 мм) та від об'єктиву до зображення (1400 мм). Для абераційного аналізу цих схем були використані дані габаритного розрахунку та проведено розрахунки при кутовому положенні об'єктиву $0^\circ \dots 14^\circ$ (з інтервалом 2°). Було розглянуто залежність плями розсіювання від кута нахилу дзеркала на рівні 0,9 від ФРТ, аналіз коми та аналіз сферичної аберації (по Spot діаграмам). По результатам побудовано графіки в залежності від

кута нахилу дзеркала та зроблено висновок, що оптимальний кут нахилу для сферичного та асферичного дзеркала проєкційного об’єктиву 6° - 8° (бажано близький до 6°), щоб середнє квадратичне відхилення хвильового фронту, кома та ФКЕ приймали мінімальні значення. При чому якщо обирати між сферичним та асферичним об’єктивами, то можна зробити висновок, що якість одержаного зображення краще для асферичного дзеркала, але для сферичного дзеркала якість зображення лежить у межах задовільного допуску. Отже, сферичне дзеркало не дуже поступається якістю одержаного зображення асферичному дзеркалу. Після абераційного аналізу, можемо зробити висновок, що сферичним дзеркалом можна замінити асферику, що є в свою чергу вигідним з економічної та технологічної точок зору.

По результатам даної роботи було обрано ОС (сферичні об’єктиви схеми Гершеля) для вимірювальної апаратури енергетичних характеристик БПВ. Було також визначено по результатам абераційного аналізу оптимальні кутові положення ОС у вимірювальних схемах контрольної апаратури.

Ключові слова: багатоелементні приймачі випромінювання, оптичні системи, багатозональні пристрої, що сканують.

Література:

1. Методы и средства измерения энергетических характеристик оптико-электронных систем космического зондирования Земли. Л.В.Вариченко, В.Г.Колобродов, Я.Е.Ладыка, В.И.Микитенко, Л.А.Михеенко // Космический вестник. – 2006. – № 2.

УДК 621.373

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ДОПЛЕРОВСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ СКОРОСТИ

Козлов В.Л., Чендырин И.И., Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

Оптические доплеровские системы с когерентными излучателем и приемником, использующим оптическое гетеродинамирование, теоретически могут обладать очень высокой точностью определения скорости и направления движения объекта, и за счет этого решают различные прикладные задачи, например, обнаруживать медленно перемещающиеся объекты на фоне неподвижных объектов с одинаковой отражающей способностью, определять скорость и угол направления движения объекта, спектр и амплитуду вибраций и т.д.

Однако системы этого типа обладают определенными недостатками, первый из которых связан с тем, что доплеровский сдвиг частоты может достигать десятков тысяч мегагерц, и тогда необходимо использовать методы сверхширокополосного приема, что приводит к снижению чувствительности.

При использовании в качестве источника зондирующего излучения полупроводникового лазера, обладающего малой длиной когерентности, на точность измерений будет оказывать существенное влияние параметры когерентности лазера.

Кроме того, доплеровские системы с одноволновым лазером позволяют определить только проекцию скорости на линию наблюдения, а не точное значение скорости объекта и угла направления движения.

В доплеровских измерителях, использующих в качестве источника зондирующего излучения полупроводниковые инжекционные лазеры, для исключения влияния малого времени когерентности лазера и уменьшения доплеровских сдвигов частоты отраженного излучения в измерительной системе используется опорный и измерительный лучи одинаковой оптической длины. Для обеспечения возможности одновременного определения точного значения скорости и угла направления движения объекта в качестве источника зондирующего излучения предлагается использовать двухволновой полупроводниковый инжекционный лазер, обеспечивающий одновременную генерацию излучения на двух различных оптических длинах волн.

В системе опорный и измерительный лучи на длинах волн λ_1 , λ_2 направляются к объекту под разными углами, при этом длины опорного и измерительных лучей одинаковы. При этом для разделения информационных сигналов по длинам волн на приемниках излучения осуществляется спектральная селекция. В результате фотогетеродинамирования на приемниках выделяются сигналы доплеровских частот f_{d1} и f_{d2} , по значениям которых можно определить как угол наклона направления движения объекта, так и точное значение скорости движения.

Ключевые слова: доплеровский сдвиг частоты, двухволновой полупроводниковый лазер, оптическое гетеродинамирование.

УДК 621.373

ДВУХВОЛНОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

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

Полупроводниковые лазерные диоды на основе асимметричных многослойных квантоворазмерных гетероструктур способны излучать оптические сигналы одновременно на двух или трех длинах волн с заданной амплитудой и частотой повторения в гигагерцовом диапазоне. Появление многочастотных лазеров дает широкие возможности для создания высокоэффективных двухволновых лазерных измерительных и диагностических систем нового типа, обеспечивающих существенные преимущества перед аналогичными одноволновыми лазерными системами.

В докладе обосновываются принципы использования двухчастотных лазерных диодов для повышения точностных характеристик оптических измерительных и диагностических систем, и описаны методы построения таких систем. Для прецизионных лазерных дальномерных систем предлагаются рециркуляционный метод измерения дальности, основанный на оптоэлектронной ре-

циркуляції одночасно на двох оптичних довжинах хвиль і імпульсно-фазовий метод вимірювань з автоматичною підстроювання частоти зондувальних імпульсів на двох довжинах хвиль.

Використання двоххвильового зондувального сигналу дозволяє одночасно з вимірюванням відстані отримати інформацію про швидкість поширення сигналу вздовж лінії спостереження в даних метеорологічних умовах і врахувати її значення при розрахунку відстані.

Для розв'язання задачі збереження і читання інформації в оптичних комп'ютерах пропонується волоконно-оптичне ноніусне запам'ятовувальне пристрій з двоххвильовим лазером як джерело випромінювання. Підвищення точності збереження і читання інформації забезпечується тим, що на одній довжині хвилі в режимі рециркуляції знаходяться інформаційні імпульси, а на другій довжині хвилі - імпульси опорної частоти, що дають часову шкалу.

Як показують результати, як аналітичних оцінок, так і математичного моделювання використання двоххвильових лазерів і режиму оптико-електронної рециркуляції на двох оптичних довжинах хвиль в системах газового аналізу дозволяє підвищити як точність трасових вимірювань концентрації газу, так і чутливість вимірника. Розглянуті способи управління випромінюванням квантоворозмірних гетеролазерів і представлені результати моделювання роботи оптикоелектронних пристроїв і систем на основі двохчастотних лазерних випромінювачів.

Ключові слова: двоххвильовий напівпровідниковий лазер, лазерна вимірницька система, оптико-електронна рециркуляція.