

СЕКЦІЯ 2

ОПТИЧНІ ПРИЛАДИ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ

УДК 681.784

СТВОРЕННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО БЛОКУ ЦИФРОВОЇ КАДРОВОЇ ФОТОКАМЕРИ КОСМІЧНОГО БАЗУВАННЯ

*Колобродов В.Г., Микитенко В.І., Бараненко І.В., Національний технічний університет
України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Виходячи з аналізу кількох десятків реалізованих протягом останніх 20 років та перспективних проектів університетських мікросупутників можна зробити висновок, що основною метою створення всього комплексу та окремих його підсистем є підвищення рівня учбового процесу в навчальному закладі. Далі зі значним відривом йдуть виконання наукових досліджень, підвищення іміджу навчального закладу, виконання комерційних проектів.

Метою роботи є представлення декількох варіантів ОЕС для малорозмірних супутників, які можуть бути створені невеликими неспеціалізованими колективами, наприклад, в університетах. З огляду на теперішній стан справ в НТУУ «КПІ» і в Україні в цілому, реальним є виконання завдань, які пов'язані тільки з підвищенням рівня учбового процесу та підвищенням іміджу. Відповідно до цього нами розглядаються два варіанти створення корисного навантаження для університетського мікросупутника.

Одним із запропонованих варіантів є багатоканальний космічний сканер. Запропонована система побудована у відповідності з найпоширенішими схематичними рішеннями, які передбачають модульність, використання уніфікованих блоків, функціональну гнучкість і можливість подальшої модифікації. Основою сканера є трьохканальна телевізійна камера на базі трьох ПЗЗ матриць, блоку світлоподілення, довгофокусного об'єктива. На вході системи встановлений блок перенацілювання, який дозволяє керувати просторовим положенням візирної осі. Вихід камери через електронний блок обробки сигналу і керування сполучений з радіомодемом або з бортовим комп'ютером.

Другий варіант системи - бортовий цифровий фотоапарат. Прилад є модифікацією звичайного цифрового фотоапарату, який передбачає управління від зовнішнього комп'ютера. Перед фотоапаратом встановлена афокальна телескопічна насадка, яка збільшує фокусну відстань в кілька разів. Можливе ще більше спрощення конструкції за рахунок вилучення телескопічної насадки, якщо буде можливість спорядити фотокамеру серійним довгофокусним об'єктивом.

В роботі представлена попередня оцінка очікуваних технічних параметрів, зроблено порівняння функціональних можливостей, зазначено переваги і

недоліки запропонованих рішень, розглянуто питання щодо можливих виконавців, строків виконання, вартості робіт.

Ключові слова: університетський мікросупутник, корисне навантаження, оптико-електронні системи космічного базування.

УДК 623.4.024

СОВРЕМЕННЫЕ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЛИЧНОГО СОСТАВА СИЛОВЫХ СТРУКТУР

*Бурак А.В., Горецкий Е.И., Мазурин И.В., Охрименко А.Г., НПК «Фотоприбор»,
г. Черкассы, Украины*

Для обеспечения скрытого наблюдения и ведения прицельного огня из укрытий и нестандартных положений, а также обнаружения и распознавания целей по габаритам ростовой фигуры человека на дистанциях 50-300 м в любое время суток, на НПК «Фотоприбор» разработан ряд приборов от простого оптико-механического до сложных электронно-оптических.

Наиболее простой – оптический прицел с гибкой связью окуляра. Благодаря наличию двух призмённых шарниров в окулярной части прицела, линии прицеливания и визирования разнесены (т.е. окуляр можно поворачивать в любую сторону при неизменном положении объектива и прицельной сетки), что позволяет вести прицельный огонь из укрытий.

Ночной прицел пассивного действия позволяет распознать фигуру человека при ночной естественной освещенности (ЕНО) равной $5 \cdot 10^{-3}$ лк на дальности до 400 м. Разработка выполнена на базе электронно-оптического преобразователя (ЭОПа) 2⁺ поколения и не уступает зарубежным образцам.

Современный уровень развития электронных технологий позволяет вести разработку оптико-электронных прицелов с использованием ПЗС-матриц, работающих как днем так и ночью. При этом информация о местоположении цели может выводиться в любое обусловленное место, например, на шлем-маску оператора.

Также для силовых структур разработаны, изготовлены и испытаны очки ночного видения ОНВ-300. Выполненные по бинокулярной схеме на ЭОПах 2⁺ поколения, очки конструктивно размещены на шлем-маске и позволяют вести стрельбу из легкого стрелкового оружия, управлять автомобилем, проводить обслуживание техники и ремонтные работы в полной темноте.

Использование ПЗС-матриц в очках ночного видения не только улучшает эксплуатационные характеристики (вес, габариты), но и повышает дальность обнаружения целей, понижает уровень освещенности наблюдений.

Применение ПЗС-матриц в сочетании с электронно-оптическими преобразователями позволяет получить качественно новые приборы наблюдения, зачастую более дешевые чем их аналоги, без потери их технических показателей и с

возможностью дублирования и передачи информации в удобное для оператора место.

Ключевые слова: приборы наблюдения.

УДК 535.21

ПОКРАЩЕННЯ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ЗОБРАЖЕННЯ ПРИ ДИСТАНЦІЙНОМУ СПОСТЕРЕЖЕННІ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ З РУХОМОЇ ПЛАТФОРМИ

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

На даний момент актуальною проблемою є покращення зображень, отриманих при дистанційному спостереженні земної поверхні, при жорстких обмеженнях габаритів та маси зображуючої оптико-електронної системи. Тому якість зображень (в першу чергу роздільну здатність) покращують не лише за рахунок вдосконалення оптичної системи, а й за рахунок обробки інформації.

Відомо багато методів підвищення роздільної здатності:

- мікросканування;
- електронна «зшивка» зображень, отриманих з декількох каналів (використовується кілька матричних приймачів випромінювання);
- суміщення інформації, одержаної в різних спектральних діапазонах (з декількох каналів видимого діапазону, або інформації з видимого та інфрачервоного діапазону);
- апертурна корекція (на основі методів лінійної фільтрації);
- суміщення кадрів, оброблених за допомогою спеціального математичного інструментарію (вейвлет-перетворень тощо).

В доповіді розглядається метод відновлення зображення, спотвореного внаслідок вібрацій. Суть методу полягає в знаходженні функції змазу, а потім використання її для відновлення зображення. Внаслідок цього вихідне зображення має вищу якість, ніж до обробки. Характеристики змазу залежать від співвідношення між часом експозиції та періодом вібрації, а також від моменту початку експозиції під час вібрації. Результати представлені для різних співвідношень.

Для високочастотних вібрацій задовільні результати можуть бути отримані для відношення сигнал/шум більше 30дБ. Для низькочастотних вібрацій розглянуто два випадки. В першому випадку рух здійснюється в одному напрямку, а в другому – рух змінюється під час експозиції (мається на увазі прямий і зворотній рух). Перевагами методу є відсутність ітерацій, висока точність при низьких шумах, використання в якості вхідної інформації лише одного кадру змазаного зображення.

Запропонований перспективний напрямок роботи - суміщення кількох методів покращення роздільної здатності. А саме здійснення мікросканування не примусово, а за рахунок наявних в системі вібрацій.

Ключові слова: роздільна здатність, мікросканування, вібрації.

УДК 681.7

ТРЬОХКОМПОНЕНТНИЙ СВІТЛОСИЛЬНИЙ ПАНКРАТИЧНИЙ ОБ'ЄКТИВ ДЛЯ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ КАМЕР

Вовк І.В., Чиж І.Г., Національний технічний університет України, м. Київ, Україна

Робота присвячена вирішенню задачі створення оптичної системи об'єктиву, призначеного для використання в тепловізійних системах спостереження. Метою досліджень є пошук методик створення оптичної системи, яка б забезпечувала якісне зображення в площині аналізатора при двох фіксованих значеннях фокусних відстаней, а саме – $f'_{\min} = 48$ мм, $f'_{\max} = 146$ мм, та при збереженні фіксованого фокального відрізка. При цьому фокальна площина не повинна переміщуватися відносно корпусу об'єктива. Відносний отвір не повинен бути меншим ніж 1:2. Спектральна область ахроматизації об'єктива складає 3,7...4,8 мкм, основна довжина хвилі – $\lambda_0 = 4,3$ мкм. Коефіцієнт пропускання в робочій області – не менш 70%, дисторсія по полю зору – не більше $\pm 5\%$, він'єтування – не більше 10%. Об'єктив повинен мати фокусування на кінцеві відстані 150 м і 50 м. Габарити повинні бути мінімальними, довжина не більше 180 мм.

Приведені в роботі результати інформаційного пошуку показують сучасний рівень розвитку оптичних систем зі змінною фокусною відстанню, який відзначається різноманіттям конструкцій компонентів, способами отримання змінних характеристик, числом рухомих і нерухомих компонентів, їх розташуванням, знаками оптичних сил компонентів, їх кількістю та формою і т.д. В результаті порівняльного аналізу прототипів обґрунтована доцільність побудови об'єктива у вигляді трьохкомпонентної варіофокальної системи, в якій перший і останній компоненти є нерухомими.

Розроблено і представлено методику габаритного розрахунку трьохкомпонентної системи. Показано, що ця методика дозволяє знаходити кардинальні параметри компонентів та їх взаємне розташування згідно вказаних вихідних даних про зовнішні параметри об'єктиву.

Розроблено і представлено методику абераційного синтезу конструктивних параметрів вихідного варіанту системи, засновану на теорії аберацій третього порядку. Її використання дозволило знайти конфігурацію системи, яка є виправленою на сферичну аберацію, кому та астигматизм при малій кривизні поля. Виявлена і доведена необхідність використання асферизації (вищу за другий порядок) що найменш трьох оптичних поверхонь системи.

Для корекції хроматичних аберацій об'єктива оптичні елементи реалізовані з Si і Ge, що становлять хроматичну пару. Показано, що задовільна корекція хроматизму може бути здійсненою лише при використанні в системі дифракційного оптичного елементу.

Ключові слова: інфрачервоний варіооб'єктив.

УДК 528.7:629.78

МОДЕЛЬ ОПТИЧНОГО ЗОБРАЖЕННЯ ДЛЯ КОМПЛЕКСУВАННЯ У БАГАТОКАНАЛЬНИХ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМАХ

Микитенко В.І., Котовський В.Й., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Переважає більшість систем дистанційного спостереження Землі оптичного діапазону має кілька спектральних каналів. Формування єдиного вихідного зображення відбувається шляхом комплексування каналів. Найголовнішою задачею процесу комплексування є об'єднання різних інформаційних потоків для одержання нової інформації про досліджуваний об'єкт, яка не є доступною в кожному окремому каналі. Тобто алгоритм комплексування, по-перше, має враховувати фізичні особливості формування оптичної інформації про об'єкт в кожному спектральному каналі, по-друге, має містити механізм виділення релевантних ознак зображень при спільному аналізі сигналів різних каналів.

Для забезпечення розробки ефективних алгоритмів комплексування в багатоканальних оптико-електронних системах створюються фізико-математичні моделі формування оптичного сигналу об'єктом та його перетворення на шляху до оптико-електронної системи і в самій системі. Найбільший практичний інтерес становлять адекватні моделі формування зображень в широкому спектральному діапазоні. Доповідь присвячена розробці спрощеної фізико-математичної моделі формування оптичного сигналу наземними об'єктами і фонами в спектральному діапазоні – від 0,4 мкм до 15 мкм. При цьому враховуються як оптичні характеристики об'єктів, так і вплив основних зовнішніх факторів на випромінювання об'єктів. Повний потік випромінювання від об'єкта описується формулою

$$\Phi_{\text{повн}}(\lambda) = \Phi_{\text{ен}}(\lambda) + \Phi_n(\lambda) - \Phi_k(\lambda) + \Phi_{\text{від}}(\lambda),$$

де $\Phi_{\text{ен}}(\lambda)$ - потік випромінювання за рахунок власної внутрішньої енергії, $\Phi_n(\lambda)$ - потік випромінювання, що обумовлений поглинутою об'єктом енергією, $\Phi_k(\lambda)$ - втрати випромінювання за рахунок конвекції, $\Phi_{\text{від}}(\lambda)$ - потік відбитого від об'єкта випромінювання.

Така модель враховує спектральні коефіцієнти відбиття і поглинання об'єкта, зовнішнє (в т.ч. – сонячне) освітлення, власні температурні градієнти на об'єкті, характеристики вітру та навколишнього середовища, тощо. При переході від видимого до інфрачервоного діапазону суттєво змінюється ваговий коефіцієнт кожної складової в $\Phi_{\text{повн}}(\lambda)$, тому в багатьох випадках практичної ре-

алізації багатоканальної оптико-електронної системи дуже складно встановити зв'язок між зображеннями одного об'єкту в різних спектральних каналах. Запропонована модель дозволяє визначити можливість використання за конкретних обставин простих алгоритмів комплексування на рівні чутників (наприклад, для систем ранньої діагностики неадекватних параметрів біологічних об'єктів). Для цього вводиться коефіцієнт подібності. В інших випадках мають бути використані більш складні технології комплексування, а модель доповнюється просторово-частотним блоком.

Ключові слова: багатоканальна оптико-електронна система, комплексування сигналів, дистанційні спостереження, системи ранньої діагностики.

УДК628.981

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЯСКРАВИХ СВІТЛОДІОДІВ

Денісов М.О., Кравченко І.В., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

В якості випромінювачів оптичних приладів, зокрема, в оптичній спектроскопії усе ширше використовуються світловипромінюючі діоди.

Компанія Hebei International Trading Co. Ltd. (Китай) промислово випускає широку номенклатуру дешевих (0.1-0.5\$ за штуку) надяскравих світловипромінюючих діодів на основі з'єднань GaAlIn і InGa, які при високій яскравості (4000-10000 мкд) мають досить вузьку ($2\Theta = 20^\circ - 45^\circ$) діаграму спрямованості, що дає можливість ефективно вводити їхнє випромінювання у волоконно-оптичні системи та зменшувати розміри зіниць оптичних систем.

Задачею роботи було дослідження абсолютних значень та повторюваність оптичних характеристик (довжина хвилі максимуму випромінювання, діаграма спрямованості, потужність випромінювання) 7 типів світлодіодів компанії Hebei Ltd. (Китай) у стандартному 5-мм корпусі: 510IB7C, 520PGOC, 510PG2C (усі GaAlIn); 540UV9C, 510MY8C, 510MR2C, 520PY9C (усі InGa).

Дослідження спектральних характеристик світлодіодів виконувалися на волоконно-оптичному спектрометрі S2000 (Ocean Optics, Inc., США). Для визначення потужності випромінювання світлодіодів застосовувався вимірник середньої потужності й енергії лазерного випромінювання ИМО-2Н. Вимір кутової щільності випромінювання виконувалося на лабораторній теодолітній установці з кроком 2° .

За результатами вимірів були визначені середні значення досліджуваних параметрів і їхні середньоквадратичні похибки. Установлено, що відхилення по середній потужності й індикатриси не перевищувало $\pm 5\%$ від паспортного значення, а розкид довжин хвиль максимуму випромінювання світлодіодів варіювався в діапазоні від -6.8нм (510PG2C) до +5.75нм (520PGOC) від паспортного значення, причому для того самого типу світлодіода відхилення обмірюваної

довжини хвилі завжди було однобічним і усередині групи не перевищувало ± 1 нм від його середнього значення. У всіх світлодіодів мала місце деяка несиметричність просторового розподілу випромінювання, що, деякою мірою, могло бути обумовлене неспіввісністю оптичної й механічної осей світлодіода.

У цілому досліджені світлодіоди показали задовільну повторюваність параметрів, що дозволяє використовувати їх у якості джерела випромінювання в оптично-електронних пристроях без проведення попередньої селекції.

Ключові слова : світлодіод, оптичні характеристики, вимірювання.

УДК 621.383

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ЗОБРАЖЕННЯ НА ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ У СИСТЕМАХ ІЗ БАГАТОЕЛЕМЕНТНИМИ ФОТОПРИЙМАЧАМИ

Кравченко І.В., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Визначення положення зображення за допомогою багатоелементних фотоприймачів широко застосовується в різноманітних системах для вимірювання показника заломлення середовища, кутової та лінійної орієнтації, лінійних розмірів, параметрів обробки поверхні тощо.

Методом комп'ютерного моделювання проаналізовано залежність точності визначення координат центру зображення від розміру зображення, коефіцієнта заповнення багатоелементного фотоприймача, відношення "сигнал/шум". Оцінено часові та обчислювальні затрати для обрахування координат центру в залежності від типу кривої, що описує зображення у вигляді гаусова імпульсу, тригонометричної та квадратичної.

Виявлено, що загальноприйняте співвідношення між розміром плями освітлення r та розміром комірки фотоприймача Δx [1]:

$$r = 1.5\Delta x,$$

не є оптимальним для систем виміру координат. Для гаусова імпульсу при коефіцієнті заповнювання 100% та відношенні "сигнал/шум" - 100 відносна похибка становить для напівширини в межах $(3...9)\Delta x - 3 \cdot 10^{-5}$, а для напівширини $1.5\Delta x - 0.009$.

Показано, що відносна методична похибка вимірювання координат в системах із багатоелементним фотоприймачем становить величину рівня $8 \cdot 10^{-11}$. Установлено, що граничним відношенням "сигнал/шум", для використання переваг інтерполяційного методу вимірювання координат може вважатися значення не нижче 20. Верхньою межею, при якій похибка стає співвідносною з методичною є значення рівня 10000.

Показано, що в системах "реального часу", слідкуючих системах доцільно використовувати квадратичне розподілення освітленості в зображенні.

Ключові слова : вимірювання координат, багатоелементний фотоприймач, інтерполяційний метод.

Література.

1. Данилов Д.В., Пашков В.С., Перешивайлов Л.А. Сравнительная оценка квазиоптимальных методов определения координат //Известия ВУЗов. Приборостроение.-1997.-т.49.- №9.-с.47-49.

УДК 681.785.423; 681.785.53; 681.785.55

**ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ БЕЛИЗНЫ МАТЕРИАЛОВ И ПУТИ ИХ
РЕШЕНИЯ**

*Бушинский В.О., Воронов С.А., Панкратов В.И., Родионов В.Н., Національний технічний
університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Во многих отраслях промышленности, связанных с созданием материалов, для которых конечный цвет продукта должен восприниматься белым, важнейшим оптическим параметром измерения является белизна. Анализ показывает, что результаты измерений белизны одних и тех же образцов могут сильно различаться (до 5 – 8)% в зависимости от стандартных методик, используемых в разных отраслях промышленности. Существуют также несоответствия между национальными и международными стандартами, что приводит к расхождению при экспертной оценке белизны материалов, поставляемых Украиной в зарубежные страны.

Проведенные нами сравнительные измерения белизны в синей области спектра в соответствии с используемым в Украине стандартом (ГОСТ 30113 – 94. ISO 2470 – 77. Бумага и картон. Метод определения белизны.), выявили нечувствительность или сильное отличие показаний приборов от визуальных наблюдений, если в технологическом процессе производства использовались различные способы (в том числе оптические) отбеливания материалов.

Для обеспечения единства измерений рекомендуется привести в соответствие отечественные стандарты, нормативную базу в целом и аппаратное обеспечение с международными стандартами определения параметра “белизна”. Для этого количественная оценка белизны должна проводиться по современным методикам, учитывающим показатели цвета, условия освещения и наблюдения, а также предпочтение цветового тона.

Необходимо разработать и оснастить предприятия стандартными образцами белизны различных уровней, в том числе с оптическими отбеливателями. Рекомендуется оснастить метрологические центры эталонной базой (образцовые приборы, стандартные образцы), аттестованные аккредитованными зарубежными лабораториями.

Ключевые слова: характеристики цвета, спектрофотометры, белизна, методики, стандарты.

УДК 535.31; 681.7; 53.082.5

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА СЧИТЫВАНИЯ КОДА

Дубровкина М.В., НИПКИ «Искра», г. Луганск, Украина

Устройство считывания кода является составной частью системы маркировки кожи в технологическом процессе. Критерием для принятия решения при считывании перфорированного кода является площадь освещенного отверстия $S_{\text{осв}}$. Зависимость $S_{\text{осв}}$ от параметров считывания описывается следующей математической моделью:

$$\begin{aligned} S_{\text{осв}}(C_X, C_Y, h, \alpha, \beta, R_V, R_N) = & \\ & 2 \cdot \frac{\pi \cdot R_V^2}{360} \arccos \left(\frac{(C_X + h \cdot \tan \alpha \cdot \cos \beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan \alpha \cdot \sin \beta)^2 + R_V^2 - R_N^2}{2 \cdot R_V \cdot \sqrt{(C_X + h \cdot \tan \alpha \cdot \cos \beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan \alpha \cdot \sin \beta)^2}} \right) - \\ & - R_V \cdot \frac{(C_X + h \cdot \tan \alpha \cdot \cos \beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan \alpha \cdot \sin \beta)^2 + R_V^2 - R_N^2}{2 \cdot \sqrt{(C_X + h \cdot \tan \alpha \cdot \cos \beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan \alpha \cdot \sin \beta)^2}} \times \\ & \times \sin \left[\arccos \left(\frac{(C_X + h \cdot \tan \alpha \cdot \cos \beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan \alpha \cdot \sin \beta)^2 + R_V^2 - R_N^2}{4 \cdot R_V \cdot \sqrt{(C_X + h \cdot \tan \alpha \cdot \cos \beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan \alpha \cdot \sin \beta)^2}} \right) \right] + \\ & + 2 \cdot \frac{\pi \cdot R_N^2}{360} \arccos \left(\frac{(C_X + h \cdot \tan \alpha \cdot \cos \beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan \alpha \cdot \sin \beta)^2 + R_N^2 - R_V^2}{2 \cdot R_N \cdot \sqrt{(C_X + h \cdot \tan \alpha \cdot \cos \beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan \alpha \cdot \sin \beta)^2}} \right) - \\ & - R_N \cdot \frac{(C_X + h \cdot \tan \alpha \cdot \cos \beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan \alpha \cdot \sin \beta)^2 + R_N^2 - R_V^2}{2 \cdot \sqrt{(C_X + h \cdot \tan \alpha \cdot \cos \beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan \alpha \cdot \sin \beta)^2}} \times \\ & \times \sin \left[\arccos \left(\frac{(C_X + h \cdot \tan \alpha \cdot \cos \beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan \alpha \cdot \sin \beta)^2 + R_N^2 - R_V^2}{4 \cdot R_N \cdot \sqrt{(C_X + h \cdot \tan \alpha \cdot \cos \beta)^2 + (C_Y + h \cdot \tan \alpha \cdot \sin \beta)^2}} \right) \right] \end{aligned} ,$$

где C_X и C_Y - механическое смещение по оси X и Y, h - толщина кожи, R_V и R_N - радиус отверстия в верхней и нижней плоскости кожи, α - угол между направлением светового потока и вертикалью, перпендикулярной плоскости кожи, β - угол между проекцией светового потока на плоскость кожи и осью OX.

Анализ математической модели показывает, что для однозначного считывания кода при радиусе отверстия 1,5 мм, толщине кожи 1 – 2мм, смещении окружностей отверстий до 0,2мм, угле между проекциями векторов механического и оптического смещения $0^0 - 180^0$, затягивании отверстия 0 – 0,8мм, рекомендуется проводить подсветку одним точечным, источником света с углом до 45^0 . При использовании в качестве оптической части устройства считывания камеры UIMICRO USB PC CAMERA 301X наиболее «четкая» картинка получается при расстоянии от кода до камеры 14 - 23см.

Ключевые слова: маркировочный код, однозначность считанного кода, оптическое смещение, площадь освещенного отверстия, точечный и протяженный источники света, оптическая часть устройства считывания.

УДК 535.024 (088.8)

ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИЙ МЕТОД НАДЛИШКОВИХ ВИМІРЮВАНЬ
ПОКАЗНИКА ПРЕЛОМЛЕННЯ ОПТИЧНО-ПРОЗОРИХ МАТЕРІАЛІВ
ТА РЕЧОВИН

¹⁾Кондратов В.Т., ²⁾Грабарук Н.С., ¹⁾Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, м. Київ, Україна; ²⁾Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна

Задача високоточного вимірювання показника переломлення оптично-прозорих матеріалів та речовин безумовно є актуальною. Для вирішення даної задачі були використані оптико-електронні методи надлишкових вимірювань (МНВ) [1]. МНВ – це новітні методи вимірювання, які забезпечують автоматичну корекцію похибок завдяки вимірювання не однієї, а декількох фізичних величин, закономірно пов’язаних з досліджуваною, з подальшою обробкою отриманих результатів згідно з рівнянням надлишкових вимірювань.

В основу розробленого методу покладено формування монохроматичного потоку оптичного випромінювання заданої потужності на робочій довжині хвилі λ_0 . Далі цей потік розщеплюється на два когерентні потоки Φ_{01} і Φ_{02} оптичного випромінювання. Вирівнюються значення потужностей та початкових фазових зсувів сформованих потоків при відсутності оптично-прозорого матеріалу (речовини) між двома плоско-паралельними дзеркалами, що розташовані на заданій за значенням відстані h_0 одна від одної. Перший потік оптичного випромінювання під заданим кутом ψ падіння пропускається скрізь оптично-прозорий матеріал (речовину) товщиною h_0 з відомим чи з невідомим коефіцієнтом переломлення.

Потужності зведених (першого послабленого та другого чи першого та другого послабленого) потоків оптичного випромінювання перетворюється у напругу та запам’ятовується. Далі, згідно з рівнянням надлишкових вимірювань, визначаються різниця фаз $\Delta\varphi_x$ зведених потоків та еквівалентний коефіцієнт відбиття k_v . За отриманими даними визначається показник переломлення n_D досліджуваного оптично-прозорого матеріалу (речовини).

Особливістю методу є те, що час проходження t_0 першого чи другого потоків оптичного випромінювання змінюється на нормований за значенням проміжок часу $\Delta t_0 = \Delta\varphi_0 / \lambda_0$, при якому різниця фаз зведених потоків оптичного випромінювання змінюється на нормовану за значенням величину $\Delta\varphi_0$.

Ключові слова: показник переломлення, оптично-прозорі матеріали, метод надлишкових вимірювань.

Література

1. Кондратов В.Т. Теория избыточных измерений // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – № 1. – С. 7-24.

УДК 53.093.08:681.586.5

НАДЛИШКОВІ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ

¹⁾Кондратов В.Т., ²⁾Шалдіна О.О., ¹⁾Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, м. Київ, Україна; ²⁾Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна

Вологість повітря – одна з найбільш суттєвих характеристик погоди та клімату. Тому точності вимірювання вологості повітря приділяють неабияке значення. Наряду із існуючими методами розвиваються й методи надлишкових вимірювань (МНВ) вологості повітря, які забезпечують автоматичну корекцію похибок. МНВ – методи, які ґрунтуються на одноразових або багаторазових прямих вимірюваннях ряду однорідних з досліджуваною або сполучених величин, зв’язаних між собою та з досліджуваною фізичною величиною за відомими законами [1].

В роботі описаний метод надлишкових вимірювань вологості повітря, який оснований на перетворенні у напругу потужностей відбитих потоків оптичного випромінювання (ПОВ), які пройшли через різні товщини конденсату вологи, що випадає на дзеркальній відбиваючій поверхні при її охолодженні. При досягненні значення товщини конденсату вологи заданого значення, визначається температура охолодження t_k дзеркальної відбиваючої поверхні. Одночасно з визначенням напруг потужностей відбитих ПОВ, у відповідні напруги перетворюють значення опорів термочутливого елемента, що відповідають значенням температури в кожному такті вимірювання. В момент часу досягнення товщини плівки конденсату вологи заданого значення перетворюють у напругу значення опору термочутливого елемента, яке відповідає температурі охолодження t_k . Дійсне значення температури оточуючого середовища t_{cp} і температури охолодження t_{ox} визначають за рівнянням надлишкових вимірювань (РНВ). Про дійсне значення вологості повітря судять по електронним таблицям з урахуванням отриманих значень температур t_{cp} і t_{ox} .

Встановлено, що описаний метод надлишкових вимірювань забезпечує автоматичне виключення адитивної та мультиплікативної складових похибки результату вимірювання, похибок вимірювання, що обумовлені часовою та температурною нестабільністю параметрів функції перетворення вимірювального каналу. На результат вимірювання не впливає також коефіцієнт поглинання.

Ключові слова: вологість повітря, метод надлишкових вимірювань, потік оптичного випромінювання, товщина конденсату вологи.

Література

1. Кондратов В.Т. Теория избыточных измерений /В сб. докладов между-народной научно-технической конференции „Метрологическое обеспечение измерительных систем”. Под ред. А.А.Данилова. – Пенза, 2005. – С. 191-210.

УДК 53.093.08:681.586.5

НАДЛИШКОВІ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ПАПЕРУ

¹⁾Кондратов В.Т., ²⁾Сорокіна Л.О., ¹⁾Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, м. Київ, Україна; ²⁾Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна

Вологість паперу є одним із параметрів, за яким судять про якість продукції, що випускається. Високоточне вимірювання вологості при виробництві та використанні паперу є й досі актуальною задачею. Оптико-електронні методи надлишкових вимірювань вологості – один із перспективних напрямів безконтактного, завадостійкого та високоточного вимірювання вологості.

В роботі запропонована математична модель методу надлишкових вимірювань вологості паперу при квадратичній функції перетворення вимірювального каналу. Серед можливих варіантів побудови математичної моделі методу надлишкових вимірювань обрано варіант, який оснований на вимірюваннях потужностей потоків оптичного випромінювання, які по чергово пройшли через зразки паперу з нормованим та невідомим значеннями вологості C_0 , причому на двох довжинах хвиль – λ_1 та λ_2 . Математична модель являє собою систему нелінійних рівнянь величин, розв’язання якої відносно невідомої фізичної величини представляє собою рівняння надлишкових вимірювань.

Особливістю методу вимірювання є формування та запам’ятовування значень потужностей потоків Φ_{01} та Φ_{02} оптичного випромінювання при відсутності паперу. Це забезпечує, у подальшому, безперервну роботу приладу. Сформовані потоки Φ_{01} та Φ_{02} пропускають через папір з невідомою вологістю C_x і перетворюють у відповідні напруги. Додатково формується потік оптичного випромінювання з нульовою за розміром потужністю, при якій визначається дрейф нуля вимірювального каналу. Завдяки обробці результатів проміжних вимірювань згідно з рівнянням надлишкових вимірювань визначається вологість паперу.

В роботі показано, що результат вимірювань не залежить від абсолютних значень параметрів вимірювального каналу та їх відхилень від номінальних значень, від значення потужності потоку оптичного випромінювання, від коефіцієнта розсіювання, а також від товщини паперу. Встановлено, що запропонований метод надлишкових вимірювань вологості паперу забезпечує зменшення похибки вимірювання більше, ніж на порядок.

Ключові слова: потік оптичного випромінювання, вологість паперу, метод надлишкових вимірювань.

Література.

1. Кондратов В.Т. Теория избыточных измерений // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – № 1. – С. 7-24.

УДК 621.373.8

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИНЖЕКЦИОННЫХ ЛАЗЕРОВ С НОРМИРУЕМОЙ ДЛИНОЙ ВОЛНЫ ИЗМЕРЕНИЯ И ШИРИНОЙ СПЕКТРА ГЕНЕРАЦИИ

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

Обладая лучшей по сравнению с другими лазерами стабильностью энергетических параметров, инжекционные лазеры (ИЛ) уступают им в стабильности длины волны излучения, ширины спектра, расходимости, когерентных свойств и т.д. Так как излучательные переходы в лазерных диодах происходят между энергетическими состояниями разрешенных зон полупроводника, ширина линии усиления и, следовательно, спектр генерируемых частот очень велики. В пределах контура линии усиления обычно находятся несколько собственных частот резонатора Фабри-Перо лазера, что приводит к многомодовой генерации часто даже при токах накачки, незначительно превышающих пороговое значение. В этом случае ширина спектра генерации достигает значений несколько нанометров, а в одномодовом режиме работы ~ 1 Е. Одномодовая генерация легко достигается в системах с распределительной обратной связью и с брегговским отражателем.

Возбуждение стационарной стоячей оптической волны в резонаторе лазера создает предпосылки для получения узкой линии излучения. На время существования стационарного состояния волны влияют оптические характеристики среды и параметры резонатора. Наиболее принципиальные ограничения спектральной ширины линии генерации связаны со спонтанным излучением, которое нечувствительно к состоянию поля в генерируемой моде и вносит случайные колебания в амплитуду и фазу колебаний.

Рассмотрены способы уменьшения ширины спектральной линии, в которых частотный шум подавляется с помощью электронных систем обратной связи с управлением по току инжекции. В качестве методов детектирования частотного шума можно использовать гетеродинирование либо амплитудно-частотное преобразование в интерферометре Фабри-Перо. Показана возможность сужения линии генерации ИЛ до значений ~ 1 кГц и таким образом создать средство хранения и воспроизведения единицы спектральной плотности мощности когерентного излучения в диапазоне длин волн 0,4—2,3мкм, где функционируют неохлаждаемые лазерные диоды.

Важную группу ИЛ образуют лазеры на основе соединений $A^{IV}B^{VI}$, перекрывающие диапазон от 4 до 32 мкм, в которых получена ширина спектральной линии генерируемого излучения ~ 50 кГц. Эти свойства открыли возможности создания на их основе спектроскопов инфракрасного диапазона со спектральным разрешением, недоступным для дифракционных приборов.

Ключевые слова: инжекционный лазер, спектр генерации, ширина линии, частотный шум, обратная связь.

УДК 531.719+621.373

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ В ИМПУЛЬСНО- ФАЗОВОЙ СВЕТОДАЛЬНОМЕТРИИ

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

Импульсно-фазовый способ измерения расстояния в значительной мере вмещает в себе достоинства фазовых методов в отношении точности измерения и импульсных систем в отношении дальности действия.

Наиболее часто при реализации импульсно-фазового метода используется дополнительная высокочастотная модуляция излучения, фаза которой и является измеряемым параметром.

В результате прохождения удвоенного расстояния до объекта сигнал, поступающий на фотоприемник, будет иметь временную задержку, что выразится в изменении фаз всех гармонических составляющих, пропорциональном их частоте и измеряемой дистанции.

При этом наиболее удобно использовать широко применяемый в непрерывно-фазовых системах метод преобразования частоты, при котором значение фазы высокочастотного колебания с частотой Ω переносится на колебание низкой промежуточной частоты $\Omega_{\text{пр}}$ специальным гетеродином, имеющим частоту $\omega_r = \Omega \pm \Omega_{\text{пр}}$.

Огибающую импульсной последовательности, позволяющую наиболее полно использовать энергию зондирующего сигнала светодальномера, можно выделить пиковым детектором или интегрирующей цепью с последующим усилением узкополосным усилителем. Дальнейшие фазовые измерения производятся, как и в непрерывно-фазовых системах, на промежуточной частоте $\Omega_{\text{пр}}$.

В случае применения в качестве источника излучения лазерного диода (ЛД) нами предложен импульсно-фазовый дальномер, основанный на измерении задержки фазы модулирующей гармоники СВЧ сигнала при модуляции тока накачки на резонансной частоте релаксационных пульсаций или точнее, а режиме синхронизации релаксационных пульсаций от внешнего генератора. Такой режим существенно отличается от режима модуляции, когда требуется большая амплитуда модулирующего сигнала. При синхронизации релаксационных пульсаций может достигаться 100%-ая модуляция излучения слабым по амплитуде высокочастотным сигналом.

Показана возможность создания импульсно-фазового дальномер, основанного на измерении задержки фазы модулирующей гармоники СВЧ сигнала в режиме синхронизации релаксационных пульсаций излучения ЛД. В таком случае спектр сигнала представляет собой ряд ярко выраженных пиков на час-

татах, кратных частоте релаксационных пульсаций, на которых можно эффективно проводить измерения.

Ключевые слова: импульсно–фазовый дальномер, лазерный диод, релаксационные пульсации, частота модуляции.

УДК 535:530.182

ЛАЗЕРНЫЙ МЕТОД ФИЛЬТРАЦИИ ЧАСТИЦ МАЛЫХ РАЗМЕРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФОТОРЕФРАКТИВНОГО КРИСТАЛЛА

Рыжевич А.А., Ропот П.И., Солоневич С.В., Васильев Р.Ю., Институт физики им. Б.И.Степанова НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Предложен метод фильтрации частиц малых размеров, основанный на фото-рефрактивном самовоздействии интенсивного бесселева светового пучка (БСП) (рис. 1а). Метод позволяет эффективно и бесконтактно отделить мелкие частицы от более крупных в суспензии 7. Телескоп 2 увеличивает исходный гауссов пучок в диаметре и уменьшает его расходимость. Аксикон 4 формирует БСП в заштрихованной области ромбоидной формы, в которую помещается фоторефрактивный кристалл германата висмута 5.

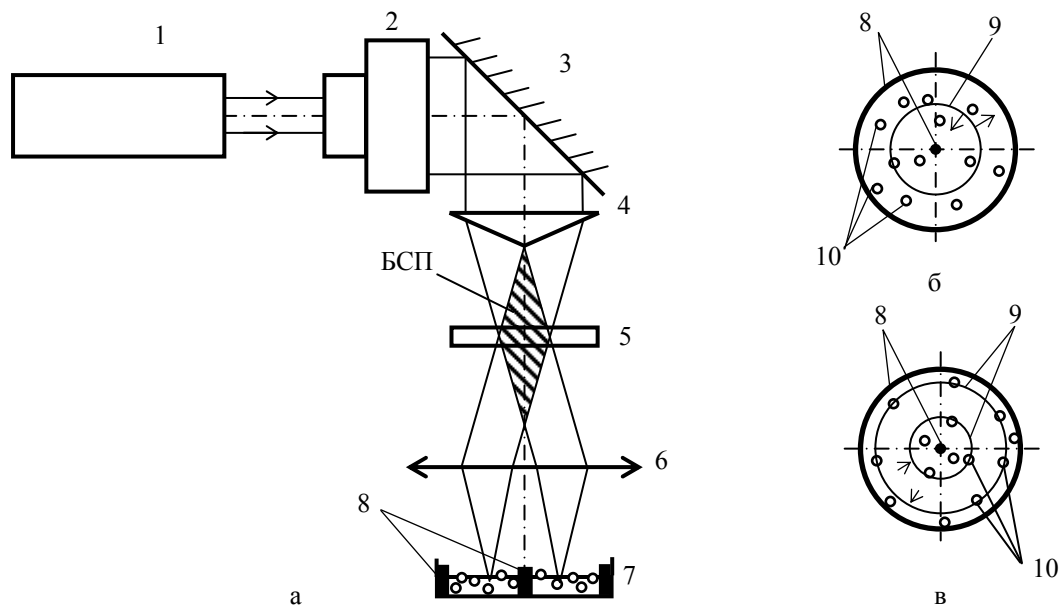


Рисунок 1 – Принципиальная оптическая схема метода: 1 лазер, 2 телескоп, 3 зеркало, 4 аксикон, 5 фоторефрактивный кристалл, 6 линза, 7 фильтруемая суспензия частиц в цилиндрической кювете, 8 адсорбер, 9 кольцевые спектры, 10 микрочастицы

При прохождении БСП через кристалл 5 в нем наводится коническая линза, эффективный угол преломления которой увеличивается при увеличении интенсивности БСП. Линзой 6 формируется Фурье спектр БСП в виде тонкого кольца (рис. 1б), которое при увеличении интенсивности разделяется на два.

При увеличенні інтенсивності БСП кільцеві спектри расходяться (рис. 1в), увлекая с собой за счет градиентной силы более крупные частицы фильтруемой суспензии, которые в дальнейшем устраняются адсорберами 8. Размер удаляемых частиц определяется скоростью перемещения спектральных колец, т.е. скоростью увеличения интенсивности БСП.

Ключевые слова: фоторефрактивный кристалл, микрочастицы, бесселев световой пучок

УДК 520.36+523.4

ФУР'Є-СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ АТМОСФЕРИ

¹⁾Синявський І.І., ¹⁾Сосонкін М.Г., ¹⁾Іванов Ю.С., ¹⁾Монсар О.О., ¹⁾Шаврина А.В., ²⁾Коліух О.Г., ¹⁾Головна Астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, м. Київ, Україна; ²⁾Інститут фізики напівпровідників Національної академії наук України, м. Київ, Україна

Повітря є найбільш ураженою частиною навколишнього середовища. В той же час якість повітря - швидкий та сильнодіючий фактор впливу середовища на стан здоров'я людини, тому контроль якості повітря повинен бути, по перше, достатньо оперативний, а по друге - виконуватися за якомога великою кількістю шкідливих домішок. Слід відзначити, що особливий інтерес представляють радіаційно-активні гази H_2O , CO_2 , CH_4 , NO , N_2O , O_3 .

Застосування дистанційного активного методу фур'є-спектроскопії допомагає розв'язанню названих задач. В лабораторії атмосферної оптики ГАО НАНУ для спостереження за станом атмосфери використовується фур'є – спектрометр "Инфралюм ФТ – 801", оптична система якого була модернізована під задачу дистанційного зондування.

Основу приладу складає інтерферометр, виконаний по схемі "подвійне котяче око" з малою чутливістю до роз'юстування. Точність визначення довжини хвилі в спектрі визначається довжиною хвилі гелій-неонового лазера референтного каналу і складає 0.001 см^{-1} . Робочий спектральний діапазон фур'є-спектрометра складає 2 – 12 мкм ($800 - 5000 \text{ см}^{-1}$) з максимальною спектральною роздільною здатністю біля 1 см^{-1} . Час необхідний для одержання спектру пропускання атмосфери складає біля 3 сек.

При моніторингу атмосфери реєструється випромінювання, що проходить скрізь її товщу довжиною L . Про спектру пропускання визначаються концентрації газових складових атмосфери.

Під час зондування приземного шару атмосфери використовується штучне високотемпературне джерело випромінювання - інфрачервоний прожектор при довжині робочої траси більше 300 м. Для одержання концентрацій газових складових атмосфери розроблено спеціалізоване програмне забезпечення, основане на базі даних HITRAN.

При зондуванні верхніх слоїв атмосфери реєструється пряме сонячне випромінювання, що проходить скрізь всю товщу атмосфери Землі. Для аналізу отриманих таким способом даних застосовується програмний комплекс MODTRAN4.

Ключові слова: дистанційне зондування атмосфери, фур'є - спектрометр.

УДК 528.7:629.78

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СХЕМ КАЛІБРУВАННЯ ВИПРОМІНЮВАЧІВ ДЛЯ ПРЕЦИЗІЙНОЇ ФОТОМЕТРІЇ

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

Однією з основних задач сучасної прецизійної фотометрії є абсолютизація вимірювань та пов'язане з нею калібрування випромінювачів у абсолютних одиницях [1]. Частіше всього у якості основної величини використовується спектральна густина енергетичної яскравості (СГЕЯ), що дозволяє найбільш повно описати енергетичні характеристики зразкових та калібрувальних джерел випромінювання [2].

Перенос одиниці СГЕЯ здійснюється на установках, що включають у себе еталонний та калібрувальний випромінювачі, комутатор з оптичною системою, що почергово створюють їх зображення на вхідній щілині монохроматора та вимірювальний приймач випромінювання, що підключений до виходу монохроматора [1]. Проблематичним є вибір елементів вимірювальної схеми, які забезпечують найкращі метрологічні енергетичні характеристики при мінімальних кошторису та габаритах.

Метою даної роботи являється дослідження, аналіз та розробка рекомендацій по вибору найбільш підходящої схеми калібрування випромінювачів по СГЕЯ для прецизійної фотометрії з використанням доступної в Україні елементної бази.

Насамперед авторами були проаналізовані найбільш перспективні для переносу одиниці СГЕЯ джерела випромінювання (стрічкові, світловимірювальні та галогенні лампи накалювання), дифракційні монохроматори різноманітних типів, дзеркальні оптичні системи та вимірювальні приймачі випромінювання (термоелементи та кремнієві фотодіоди). Для кожної комбінації елементів вимірювальної схеми були визначені наступні характеристики:

- коефіцієнт пропускання схеми, що враховує втрати випромінювання у вимірювальній схемі;
- максимальне значення монохроматичного потоку випромінювання, що потрапляє на приймач випромінювання;
- сумарна похибка (що включає систематичну на випадкову складові) переносу одиниці СГЕЯ від еталону до калібрувального випромінювача.

Результати проведених досліджень дозволяють обґрунтовано вибирати найбільш підходящі для конкретної фотометричної задачі комбінації елементів, оцінюючи їх потенційні точності та енергетичні характеристики.

Ключові слова: фотометрія, випромінювачі, калібрування.

Література:

1. Котюк А. Ф. Метрологическое обеспечение энергетической фотометрии. Под ред. Степанова Б. М. - М. - Атомиздат, 1976. – 138 С.
2. Колобродов В. Г., Микитенко В. І., Міхеєнко Л. А. Стендова апаратура для вимірювання енергетичних характеристик оптико-електронних пристроїв космічного базування // Наукові вісті НТУУ «КПІ». - 2003. - №3. – С.98 – 104.

УДК 528.7: 629.78

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИФУЗНОГО ВИПРОМІНЮВАЧА НА ОСНОВІ ІНТЕГРУЮЧОЇ СФЕРИ

*Гордієнко Ю.О., Міхеєнко Л.А., Боровицький В.М., Національний технічний університет
України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Дифузні випромінювачі (ДВ) на основі інтегруючої сфери (ІС) знайшли широке використання при вимірюванні енергетичних характеристик багатоелементних приймачів випромінювання і пристроїв на їх основі [1]. Однією з основних характеристик ДВ є нерівномірність розподілення яскравості в площині вихідної апертури. У більшості практичних випадків ця рівномірність не повинна перевищувати величин порядку 1...3%, що є досить важкою технічною задачею.

Достатньо повно розроблена теорія ДВ в [2], але отримання аналітичних виразів, що описують розподілення поля яскравості у вихідній апертурі ДВ, пов'язано зі значними математичними труднощами через складний характер формування поля яскравості в реальних ІС при довільному розташуванні джерел світла, форм і спрямованості їх індикатрис, впливу технологічних факторів (арматури джерела світла, елементів кріплення та ін.).

Метою даної роботи є експериментальне дослідження факторів, що визначають формування поля яскравості вихідної апертури ДВ, і розробка практичних рекомендацій по забезпеченню максимальної однорідності яскравості в проектуванні ДВ для прецизійної фотометрії.

Дослідження проводились на експериментальній установці, що складається із макета ДВ на основі ІС діаметром 260 мм. з круглої вихідної апертури діаметром 50 мм. і фотоелектричного мікроскопа (ФЕМ). За допомогою ФЕМ вимірювалось розподілення яскравості в вихідній апертурі в результаті дії наступних факторів:

- різноманітному розташуванню джерел випромінювання різних типів;
- різних по формі, розмірах і розташуванню екранів розташованих безпосередньо перед джерелами випромінювання;

- установці бленд різної довжини в вихідній апертурі;
- локальною зміною характеристик внутрішнього покриття.

Отримані в роботі оригінальні експериментальні результати дозволяють вирішити ряд практичних запитань, стосовно розробки ДВ для прецизійної фотометрії, які раніше викликали особливі труднощі проектувальників і будуть корисними широкому колу спеціалістів оптичної метрології.

Ключові слова: дифузний випромінювач, експериментальні дослідження.

Література:

1. Колобродов В. Г., Микитенко В. І., Міхеєнко Л. А. Стендова апаратура для вимірювання енергетичних характеристик оптико-електронних пристроїв космічного базування // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. І 2003. - №3. – С. 98-104.
2. Міхеєнко Л. А., Боровицкий В. Н. Осветительный канал цифрового микроскопа на базе диффузного излучателя.// Технология и конструирование в электронной аппаратуре.І2006.– с.20- 27.

УДК 528.7: 629.78

АБСОЛЮТИЗАЦІЯ ВИМІРЮВАНЬ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БАГАТОЕЛЕМЕНТНИХ ПРИЙМАЧІВ ВИПРОМІНЮВАННЯ І ПРИСТРОЇВ НА ЇХ ОСНОВІ

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

Останнім часом широкого розвитку набули оптико-електронні прилади (ОЕП) з багатоелементними приймачами випромінювання (БПВ) – цифрові відеокамери, наукові прилади, системи дистанційного зондування, спостереження й супроводу. Однак подальше вдосконалення таких систем в значній мірі стримується недостатнім рівнем методів і засобів прецизійного вимірювання їх енергетичних характеристик і, в першу чергу, в абсолютних величинах [1].

Ця проблема, одна з найскладніших в сучасній фотометрії, стосовно України додатково ускладнюється рядом факторів, серед яких, у першу чергу, варто назвати недосконалість існуючої в країні оптичної еталонної бази, відсутність державної контрольної схеми передачі одиниць енергетичних величин (є тільки відповідний проект ДСТУ), недолік, фізичне і моральне спрацювання більшості зразкових оптичних засобів вимірювань різного рангу.

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

Автором з метрологічної, енергетичної, конструкторської і економічної позицій розглянуті вітчизняні й закордонні оптичні еталони, схеми передачі одиниць енергетичних величин у видимій і близькій інфрачервоній областях спектра, а також їх елементи - джерела і приймачі випромінювання, спектральні

компаратори, оптичні системи сполучення. Розроблені рекомендації по їх використанню в процесі вирішення конкретних вимірювальних задач.

При цьому основна увага приділялась методам і засобам переносу одиниці спектральної густини енергетичної яскравості (СГЕЯ), що найбільш часто використовуються при калібруванні ОЕП з БПВ.

Для найбільш точних систем, що використовуються в якості працюючих еталонів дифузні випромінювачі на основі інтегруючої сфери [1, 2], запропонований принципово новий метод калібрування по СГЕЯ, але зі застосуванням еталонів світлового потоку, що відповідає сучасній тенденції оптичної метрології. При цьому точність калібрування підвищує 15...20 % відомі схеми.

Метод спирається на повірочну схему переносу світлового потоку, що прийнята в Росії і використовується в Україні, за допомогою еталонних і зразкових світловимірювальних ламп типу СИП (ГОСТ 8.023-2003), достатньо широко розповсюджених в метрологічних організаціях України. У якості основного компаратора використовується люксометр-яскравомір ТЭС 0693 української фірми “Тензор”, а для вимірювання спектральних характеристик – цілком доступні монохроматори МДР-23 або МДР-204 з вимірювальним фотодіодом ФД-24К.

Ключові слова: еталони, повірочні схеми, метрологічна елементна база.

Література:

1. Колобродов В. Г., Микитенко В. І., Міхеєнко Л. А. Стендова апаратура для вимірювання енергетичних характеристик оптико-електронних пристроїв космічного базування // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. І 2003. - №3. – С. 98-104.
2. Михеєнко Л. А., Боровицкий В. М. Излучатель переменной яркости на основе сопряженных интегрирующих сфер // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. І 2006. - №6(66). – С.61-64.

УДК 681.7

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ЛИНЕЙНОГО РАЗРЕШЕНИЯ СКАНЕРОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

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

Разработка, запуск и эксплуатация космических ОЭС дистанционного зондирования Земли связана с значительными финансовыми затратами, поэтому применение различных математических моделей для оптимального выбора ОЭС поможет значительно сократить время и затраты при проектировании таких систем. В докладе представлена разработанная модель расчета линейного разрешения на местности (ЛРМ) сканеров ДЗЗ.

Линейное разрешение сканера на местности определяется несколькими факторами, которые в совокупности определяют способность сканера обнаружить или распознать те или иные объекты. Первый из них – *геометрический фактор*. Он характеризуется величиной проекции пикселя на Земле – P (м) и зави-

сит только от фокусного расстояния оптической системы, размера пикселя и высоты орбиты КА. Второй фактор – *качественный*, который характеризует способность оптико-электронной системы и всего тракта, включая объект и атмосферу, передавать изображение тест-объекта с наибольшим контрастом. Он характеризуется суммарной МПФ - $M_{\Sigma}(\nu)$:

$$M_{\Sigma}(\nu) = K_o \cdot M_o(\nu) \cdot M_{\text{АТМ}}(\nu) \cdot M_{\text{ГЗС}}(\nu) \cdot M_{\phi}(\nu, \Delta x) \cdot M_{\text{СДВ}}(\nu, \Delta x') \cdot M_{\omega}(\nu).$$

Третий фактор – *энергетический*. Объект и фон, освещенные Солнцем и имеющие собственные альбедо, создают в фокальной плоскости фотоприемной линейки или матрицы перепад освещенности, равный результирующему контрасту изображения M_{Σ} , при этом пороговый контраст в изображении $M_{\Sigma\text{ПОР}}$, при котором объект может быть еще обнаружен на окружающем фоне, равен:

$$M_{\Sigma} = \frac{E_C - E_{\phi}}{E_C + E_{\phi}} = \frac{\Delta E}{2E_{\phi} + \Delta E}, \quad M_{\Sigma\text{ПОР}} = \frac{SNR_B}{2 \cdot SNR + SNR_B}.$$

Четвертый фактор – *вероятностный*. Вероятность обнаружения является функцией воспринимаемого системой отношения сигнала к шуму (SNR).

$$P_{\text{обн}} = 0.5 \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{SNR_B - SNR_0}{\sqrt{2}} \right) \right].$$

Пересечение $M_{\Sigma\text{ПОР}}$ с $M_{\Sigma}(\nu)$ даст величину пространственного разрешения системы V_P для объектов с различным значением альбедо при заданной вероятности обнаружения. Линейное разрешение на местности (ЛРМ) связано с проекцией пикселя P следующим соотношением:

$$\text{ЛРМ} = \frac{V_H}{V_P} \cdot P.$$

Ключевые слова: линейное разрешение на местности, вероятность обнаружения, суммарная МПФ, пороговый контраст.

УДК 535.3 (681.784)

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ОБНАРУЖЕНИЯ ЦЕЛИ В МНОГОКАНАЛЬНЫХ ПРИБОРАХ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ

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

Приборы ночного видения (ПНВ) находят широкое применение в различных системах наблюдения, особенно военных системах разведки и прицеливания. К ПНВ относятся традиционные приборы, использующие в качестве усилителей яркости электронно-оптические преобразователи, и тепловизоры, которые воспринимают собственное излучение теплоконтрастных целей. Основной характеристикой ПНВ является максимальная дальность обнаружения, определяемая как максимальная дальность между целью и прибором, при которой оператор может обнаружить изображение цели на экране дисплея с заданной вероятностью.

Произведен сравнительный всесторонний анализ нескольких моделей обнаружения цели, которые были разработаны Департаментом Обороны США с целью их использования в многоканальных ПНВ для составления рекомендаций по их использованию. Эти модели были разработаны на основании экспериментов по визуальному восприятию Blackwell-Tiffany и военных полевых испытаний при участии человека при Военном Департаменте Электронно-оптических Сенсоров для ночного видения (NVESD). Анализ этих методик показывает, что они в достаточной мере отвечают различным областям их использования.

Для модели **Bailey-Rand**, которая основана на экспериментах Blackwell, рассматривается зависимость вероятности обнаружения от энергетических характеристик цели и фона (главным образом от контраста цели и фона). Для модели NVESD рассматривается зависимость вероятности обнаружения от количества пар линий на критический размер цели, т.е. зависимость от углового размера наблюдаемой цели и времени наблюдения оператором.

Нами установлено, что при больших дальностях наблюдения (малом угловом размере наблюдаемой цели) модель NVESD дает малые значения вероятности обнаружения и ее использование является нецелесообразным. При больших дальностях и при большом значении контраста первая модель дает хороший результат. При малых дальностях до цели обе модели дают хороший результат, а так же для первой модели наблюдается четкая зависимость вероятности обнаружения от энергетических характеристик цели, а для второй модели – от углового размера цели.

Ключевые слова: прибор ночного видения, вероятность обнаружения цели, модели обнаружения изображения цели.

УДК. 53.082

ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ БАГАТОКАНАЛЬНИХ ІК-СИСТЕМ

*Шевчик-Шекера А.В., Сипко Н.И., Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова
НАН України, Україна*

За останні роки широкого розвитку набули тепловізійні системи (ТС), які використовуються для дистанційного контролю та діагностики у багатьох галузях господарської діяльності, військовій техніці, медицині, тощо.

ТС функціонують незалежно від рівня природного нічного освітлення і світлотехнічних контрастів об'єкту і фону, здатні виявляти навіть скриті об'єкти по їх тепловому випромінюванні. Але вони також мають свої недоліки, пов'язані з нечіткою деталізацією зображення та специфічним його характером. Якість зображення істотно залежить від температурних контрастів об'єкту і фону. Для усунення зазначених недоліків використовується варіації поєднання різних спектральних діапазонів – створення багатоканальних ІЧ-систем.

На базі розробленого в інституті фізики напівпровідників малогабаритного тепловізійного пристрою з багатоелементним фотоприймальним пристроєм формату 2Ч64 з телевізійною частотою кадрів та високою температурною роздільною здатністю ($\Delta T < 0,1$ К), проведений аналіз доцільності поєднання та використання ближнього видимого та ІЧ спектральних діапазонів в залежності від умов дослідження, характеру спостерігаемого об'єкту та фізіологічної будови ока спостерігача. Наведені шляхи апаратної реалізації поставленої задачі. Зазначені критерії оцінки інформативності зображення системи.

Ключові слова: багатоканальна ІК-система, критерії інформативності зображення, око спостерігача.

УДК. 53.082

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НЕОДНОРІДНОСТІ ЧУТЛИВОСТІ ПРИЙМАЧА ВИПРОМІНЮВАННЯ НА МІНІМАЛЬНУ РОЗДІЛЬНУ РІЗНИЦЮ ТЕМПЕРАТУР ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ (МРТД ТСС)

¹⁾Шевчик-Шекера А.В., ²⁾Овечкін В.С., ¹⁾Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, ²⁾Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

У наш час широке застосування знайшли системи, які працюють в інфрачервоному (ІЧ) діапазоні спектра. Ці системи використовуються у багатьох сферах людської діяльності, як за цивільним, так і військовим призначенням. Тепловізійні системи спостереження (ТСС) дозволяють ефективно і безпечно безконтактними методами отримати інформацію про об'єкт: форму, спрямування, розподілення температури по площині об'єкта. Коли постає задача по виявленню або розпізнаванню об'єкта (людина, літак) або якоїсь його частини (пухлина, прорив у газопроводі) дуже суттєвим є питання, з якої відстані це може бути зроблено або яка найменша різниця температур між об'єктом та фоном може бути помічена оператором. Характеристикою, яка поєднує параметри ТСС, зорве сприйняття і описує функціональні можливості по температурно-просторовому розділенню ТСС, є мінімальна роздільна різниця температур (MRTD).

ТСС складається з багатьох компонентів, але якість ТСС визначається насамперед приймачем випромінювання (ПВ). Хоча розвиток тепловізійної промисловості призвів до значного покращення якості ПВ, однак однією з головних проблем є неоднорідність чутливості по поверхні ПВ. Це погіршує загальну якість ТСС і тому виробники тепловізійних приладів використовують спеціальні алгоритми, які б усували цей недолік.

Для проведення досліджень був використаний тепловізійний пристрій з 128-елементною КРТ-лінійкою, абсолютне чорне тіло та набір мір. Міри були роз-

роблені та виготовлені різних форм та розмірів з урахуванням типу досліджень та характеристик приймача випромінювання.

В роботі співставлені експериментальні та розрахункові дані оцінки MRTD, приведений алгоритм усунення впливу неоднорідності чутливості приймача випромінюванні на MRTD. Проведений оціночний аналіз зручності та доцільності використання різних типів мір.

Ключові слова: мінімальна роздільна різність температур, неоднорідність чутливості приймача випромінювання, тепловізійна система спостереження

УДК 535

МОЖЛИВОСТІ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ СИНГУЛЯРНИХ ПУЧКІВ В ІНФОРМАЦІЙНИХ КОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

*Богатирьова Г.В., Тарасюк О.М., Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Розглянуті теоретичні та експериментальні методи синтезу світлових пучків з заданими просторовими характеристиками, що зберігають свою структуру при поширенні.

Розглядаються параметри сингулярного пучка, що застосовуються для оптичного кодування інформації та отримання даних про об'єкти, через які пучок проходить або відбивається.

Приведена порівняльна характеристика комбінованих сингулярних частково-когерентних, псевдодеполяризованих та поліхроматичних полів, на основі якої можна запропонувати шляхи практичного використання параметрів сингулярного пучка в інформаційних комунікаційних системах для кодування даних.

Ключові слова: сингулярна оптика, інформаційні комунікаційні системи

УДК 624.131.1

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ОБРАБОТКЕ И АНАЛИЗЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

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

В последнее время в научных исследованиях все шире используются вейвлет-преобразования. Основной характерной особенностью этих преобразований является то, что анализ сигнала происходит и в пространственных и в частотных координатах одновременно. В отличие от преобразования Фурье, вейвлет-преобразование обеспечивает двумерную развертку исследуемого одномерного сигнала. В результате появляется возможность анализировать свойства сигнала одновременно в пространстве координат (в физической области) и в частотном

пространстве. Для обработки изображений, которые формируются оптико-электронными системами, особый интерес представляет двумерное вейвлет-преобразование.

Для обработки изображений было рассмотрено преобразование Хаара. Каждый сигнал можно характеризовать его средними значениями на некоторых интервалах и флуктуациями относительно этих средних значений. При анализе любого сигнала надо, прежде всего, выбрать соответствующий базис, т.е. систему функций, которые играют роль «функциональных координат».

Использование подобного преобразования дает поистине огромные возможности в вопросах повышения качества изображения, автоматизации некоторых процессов, выявления слабоконтрастных объектов при высоком уровне шумов и многих других областях.

Были рассмотрены несколько методов обнаружения слабоконтрастных объектов (выделение клеток эритроцитов). Повышение качества изображения некоего объекта при высоком уровне шумов. Что достигается при усилении деталей на соответствующем масштабе, при низком контрасте, и удалении шумов путем уменьшения коэффициентов разложения на уровне мелких деталей.

Рассмотрена методика автоматизации фокусировки микроскопа и измерения величины астигматической разности оптической системы с использованием данных о горизонтальных и вертикальных деталях изображения, что существенно снижает временные затраты, и позволяет полностью автоматизировать процессы подобного рода. В ходе исследований рассмотрен аппарат многомасштабного анализа двумерных функций с использованием вейвлетов Добеши для формирования ортонормального базиса и эквивалентного масштабирования по координатам.

Выявлено, что вейвлет-преобразование имеет сильную зависимость от выбранного базиса, и требует подбора особого базиса для различных типов сигналов.

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, автоматизация фокусировки, измерение астигматизма, повышение качества изображения.

УДК 621.383: 621.384: 621.398

МОДЕЛЮВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ ФІЛЬТРІВ ЗГЛАДЖУВАННЯ ШУМІВ В ТЕЛЕВІЗІЙНИХ І ТЕПЛОВІЗІЙНИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО ВИЯВЛЕННЯ

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

Актуальність застосування фільтрів згладжування шумів в сигналах в телевізійних і тепловізійних системах автоматичного виявлення цілей обумовлена необхідністю підвищення завадостійкості цих систем. В доповіді розглянуто нелінійні фільтри згладжування шумів, які реалізують оператори локального усереднення сигналів в околі заданого елемента зображення (ЕЗ) по оточуючим

ЕЗ, сигнали яких задовольняють задаваній моделі однорідності. Ці фільтри дозволяють здійснювати обробку сигналів точкових, малорозмірних і протяжних цілей з високою ефективністю зниження рівня шуму без спотворення форми цілей. Ефективність роботи нелінійних фільтрів внаслідок можливості їх впливу на амплітуду сигналу цілей слід характеризувати не коефіцієнтом зниження шуму, а коефіцієнтом покращення відношення сигнал/шум $k_{\Pi} = \frac{\text{SNR}_{\text{ц.вих}}}{\text{SNR}_{\text{ц.вх}}}$, де $\text{SNR}_{\text{ц.вх}}$, $\text{SNR}_{\text{ц.вих}}$ – відношення сигнал/шум цілі на вході і на виході фільтра відповідно. Оскільки ці фільтри нелінійні, то розрахунок коефіцієнта k_{Π} аналітичним шляхом неможливий і для цього необхідно застосувати математичне моделювання.

При проведенні математичного моделювання необхідно враховувати, що для систем автоматичного виявлення $\text{SNR}_{\text{ц}}$ визначається з урахуванням вимог до ймовірностей правильного виявлення цілей P_d і фальшивих тривог P_f . Виконання цих вимог залишається вирішальним і при введенні в систему фільтра, а моделювання необхідно виконувати для всієї системи. В доповіді наведено результати математичного моделювання ймовірностей P_d і P_f для телевізійної системи автоматичного виявлення з сігма-фільтром, вихідний сигнал якого визначається за формулами

$$\bar{U}(i, j) = \frac{\sum_{k=i-m}^{k=i+m} \sum_{l=j-n}^{l=j+n} a(k, l) U(k, l)}{\sum_{k=i-m}^{k=i+m} \sum_{l=j-n}^{l=j+n} a(k, l)}; \quad a(k, l) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } |U(i, j) - U(k, l)| \leq k_{\phi} \sigma_{\text{ш}}; \\ 0, & \text{якщо } |U(i, j) - U(k, l)| > k_{\phi} \sigma_{\text{ш}}, \end{cases}$$

де $\sigma_{\text{ш}}$ – середнє квадратичне відхилення шуму. Розроблено методику визначення коефіцієнта k_{Π} по результатам математичного моделювання, яка базується на визначенні $\text{SNR}_{\text{ц}}$ при умові забезпечення заданих ймовірностей P_d і P_f системою без застосування і з застосуванням нелінійного фільтра. Наведено приклад застосування методики, в якому визначений $k_{\Pi} = 1,5$.

Ключові слова: нелінійний фільтр, математичне моделювання.

УДК: 621.396.962.3

ДЕФЛЕКТОР ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА НА ОСНОВЕ ЛИНЗОВОГО КОМПЕНСАТОРА

Стеба А.М., ГП НИИ “Квант”, г.Київ, Україна

При разработке корабельных оптико-электронных систем управления высокоточным оружием (например, артиллерийскими снарядами типа «Краснополь» с наведением по пятну лазерного целеуказателя (ЛЦУ)) возникает задача точного наведения и удержания на цели луча ЛЦУ.

Эта задача может быть решена с помощью двухконтурной системы наведения, грубый контур которой отрабатывает эволюции корабля с некоторой динамической ошибкой, а точный контур осуществляет донаведение луча в небольшом диапазоне угловых ошибок грубого контура.

В качестве исполнительного элемента точного контура могут использоваться различные компенсаторы, обладающие оптической редукией, в которых значительное угловое или линейное перемещение одного из элементов приводит к малому отклонению оси луча ЛЦУ.

В работе рассматривается оптический компенсатор, состоящий из двух линз – отрицательной и положительной с равными фокусными расстояниями f , причем отрицательный компонент имеет возможность смещения по двум взаимно перпендикулярным направлениям в плоскости, перпендикулярной оси пучка.

Ввиду того, что пучок мощного ЛЦУ содержит большое количество несинхронизированных поперечных мод, распределение плотности мощности излучения по поперечному сечению пучка является гауссовым с некоторым радиусом a по уровню e^{-1} от максимума и радиусом поперечной когерентности пучка r_k .

Поперечная корреляционная функция такого пучка имеет вид:

$$B(\vec{r}_1, \vec{r}_2, 0) = \frac{P_0}{\pi a^2} \exp \left[-\frac{\vec{r}_1^2 + \vec{r}_2^2}{2a^2} - \frac{(\vec{r}_1 - \vec{r}_2)^2}{r_k^2} \right],$$

где P_0 – полная мощность пучка,

$\vec{r}_{1,2}$ – двумерные радиус векторы.

Обе линзы представлялись в виде двумерных фазовых транспарантов:

$$F_1(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \exp \left[ik(\vec{r}_1 - \vec{r}_0)^2 - ik(\vec{r}_2 - r_0)^2 \right] / 2f, \quad F_2(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \exp \left[-ik\vec{r}_1^2 + ik\vec{r}_2^2 \right] / 2f,$$

где \vec{r}_0 – радиус-вектор смещения отрицательной линзы, k – волновой вектор.

В приближении Френеля найдено распределение плотности мощности в поперечном сечении пучка на произвольном расстоянии z от ЛЦУ:

$$P(\vec{R}, z) = \frac{P_0}{\pi a^2(z)} \exp \left[-\frac{(\vec{R} + \vec{r}_0 z / f)^2}{a^2(z)} \right], \quad \text{где } a(z) = \sqrt{\left(\frac{1}{a^2 k^2} + \frac{4}{r_k^2 k^2} \right) z^2 + a^2}.$$

Таким образом распределение мощности излучения в дальней зоне остается гауссовым, его максимум смещен в точку $\vec{R} = -\vec{r}_0 z / f$ относительно оси z , а расходимость равна расходимости исходного пучка.

Ключевые слова: лазерное излучение, точное наведение.

УДК 629.7

ФОРМИРУЮЩАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАТЧИКА ОПТИЧЕСКОГО ЛОКАТОРА С КОРРЕКТОРОМ ПОЛОЖЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА

*Лиждвой А.Е., Нога Н.М., Стефанович В.Т., Трандаш М.М.,
ГП НИИ «Квант», г. Киев, Украина*

Некоторые задачи оптической локации требует высокой точности удержания лазерного пучка на объекте, что приводит к необходимости создания двухконтурных систем управления угловым положением энергетической оси пучка.

Например, при размещении локатора на подвижном носителе первый “грубый” контур системы обеспечивает компенсацию эволюций носителя и наведение пучка на объект, второй “точный” контур - оптический корректор, обеспечивающий компенсацию ошибок автосопровождения и удержание пучка на объекте.

Нами исследовался вопрос выбора исполнительных элементов и построение оптического корректора. Известно применение для этих целей множества устройств, в том числе ранее применявшихся в классической оптике различного рода компенсаторов. Естественное стремление уменьшить количество оптических элементов в оптической системе передатчика приводит к решению возложить функцию управления положением лазерного пучка в пространстве на один из элементов, уже имеющихся в системе.

Таким элементом нами выбран отрицательный компонент (окуляр) телескопической системы Галилея, формирующей требуемую угловую расходимость излучения. Выбранный корректор имеет ряд преимуществ: отпадает необходимость введения дополнительных элементов в систему передатчика, обеспечивается необходимый диапазон угловых перемещений лазерного пучка 15...20 угл. мин. с требуемой точностью 20...30 угл. с, обеспечивается линейность пленгационной характеристики корректора в рабочем диапазоне углов.

Рассчитан и изготовлен макет корректора, состоящий из телескопической системы Галилея с увеличением $0,25^x$ и телескопической насадки к ней с увеличением $0,4^x$. Отклонение лазерного пучка производится перемещением окуляра в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Смещение окуляра в пределах ± 3 мм с шагом 0,1 мм приводит к отклонению пучка на выходе системы Галилея на угол ± 15 угл. мин. с точностью 30 угл. с. Введением дополнительной телескопической насадки можно повысить точность управления положением пучка до 15 угл. с. Входная апертура системы 8 мм. Угловые аберрации в пределах 1-2 угл. с.

Ключевые слова: лазерный локатор, управление лазерным пучком.

УДК 681.4

СТЕНД ДЛЯ ЮСТУВАННЯ БАГАТОКАНАЛЬНИХ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

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

Для задач навігації, виявлення та супроводження об'єктів широкого розповсюдження набули багатоканальні оптико-електронні системи. Найчастіше такі системи містять в своєму складі об'єднані в одному приладі телевізійні та інфрачервону камери і лазерний далекомір. Актуальною є задача юстування таких приладів, причому розбіжність оптичних осей камер та далекоміра не повинна перевищувати 10-20 кутових секунд.

В НДІ «Квант» розроблений та виготовлений спеціальний стенд, який використовується для юстування приладів, які містять телевізійні та інфрачервону камери і лазерний далекомір, причому свідком енергетичної осі далекоміра є прицільна марка, сформована вбудованою в далекомір телевізійною камерою.

Основою стенда є довгофокусний дзеркальний коліматор, побудований по схемі Кассегрена. Основні характеристики коліматора: фокусна відстань 5000 мм, світловий діаметр великого дзеркала 280 мм, світловий діаметр малого дзеркала 100 мм; діаметр найменшого кружка розсіювання 0,2мм. В фокальній площині коліматора розміщений тест-об'єкт, наприклад, перехрестя, який підсвічується джерелом випромінювання з спектральною характеристикою, яка відповідає спектральним діапазнам роботи приладу. Процес юстування полягає в суміщенні на екрані відеомонітору телевізійних та інфрачервоних зображень тест-об'єкта, сформованих окремими каналами ОЕС.

Стенд також використовується для вимірювання порогової чутливості інфрачервоних систем. Для створення порогової освітленості використовується насадка перевірки чутливості в склад якої входять імітатор АЧТ і калібрована з точністю переміщень 0,01 мм квадратна діафрагма.

Енергетична освітленість на вході приладу

$$E = \frac{\sigma \cdot \rho_1 \cdot \rho_2 \cdot k_B \cdot S_g (\varepsilon \cdot T_1^4 - T_0^4)}{\pi \cdot f_k^2},$$

де $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-12}$ Вт/см² К⁴ – постійна Стефана-Больцмана,

$\varepsilon = 0,96$ – коефіцієнт випромінювання порожнини АЧТ,

T_1, T_0 – температура порожнини АЧТ і температура довкілля відповідно,

$\rho_1 = \rho_2 = 0,98$ – коефіцієнти відбиття дзеркал,

$k_B = 0,64$ – коефіцієнт він'єтування,

S_g - площа отвору діафрагми,

f_k - фокусна відстань коліматора.

Ключові слова: оптико-електронні системи, юстування.

УДК 681.7.069.24

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СВІТЛОДІОДНОГО ОСВІТЛЮВАЧА ДЛЯ ОПТИЧНОГО МІКРОСКОПА

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

Сучасні світлодіоди за потужністю потоку випромінювання досягли значень 1-3 Вт. Тому вони все частіше використовуються для освітлення в приладах замість ламп розжарювання. Їх основні переваги – високий коефіцієнт корисної дії, висока направленість випромінювання, довгий термін служби та досить низька ціна. На жаль, у освітлювачі для мікроскопа за схемою Келера, заміна лампи розжарювання на потужний світлодіод пов'язана зі значними технічними труднощами. Тому актуальною задачею є створення математичної моделі світлодіодного освітлювача для мікроскопа, який би формував рівномірну освітленість в площині предметів при високому коефіцієнті корисної дії. За допомогою даної математичної моделі можна розрахувати розподіл освітленості, яку він сформує, та провести оптимізацію параметрів освітлювача для досягнення рівномірної освітленості площини предметів. Модель освітлювача враховує кількість світлодіодів та їх орієнтацію у просторі, потужність світлодіодів, індикатрису випромінювання, розміри площини предметів та інше. За допомогою даної моделі була проведена оптимізація світлодіодного освітлювача для біологічного мікроскопа.

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

УДК 681.785.63

СТЕНД ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ІНДИКАТРИСИ СВІТЛОДІОДА

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

Сучасні світлодіоди є перспективними джерелами випромінювання. До їх переваг слід віднести високий коефіцієнт корисної дії, довгий час служби та досить низька ціна, різні кольори випромінювання, включаючи біле світло. Тому вони все частіше використовуються для освітлення в оптико-електронних приладах та системах замість ламп розжарювання. Але застосування світлодіодів стримується тим, що має місце суттєва варіація характеристик їх випромінювання, у тому числі їх індикатриси. Тому актуальною задачею є створення стендів для вимірювання параметрів та характеристик світло діодів, включаючи вимірювання індикатриси випромінювання. Авторами спроектований та виготовлений стенд для повністю автоматичного

вимірювання індикатриси випромінювання світло діода, який відповідає міжнародним стандартам. Цей стенд дозволяє виконати вимірювання індикатриси з похибкою по амплітуді не вище 1 % при похибці по кутовим координатам не вище 1 кутового градуса у діапазоні від -90 до 90 градусів. За допомогою розробленого програмного забезпечення формується протокол вимірювання індикатриси з таблицями та трьохвимірними зображеннями індикатриси.

Ключові слова: світлодіод, індикатриси випромінювання, вимірювання, точність.

УДК 623.4.05

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЛАЗЕРНОГО ІМІТАТОРА СТРІЛЬБИ

*Новацький А.С., Боровицький В.М., Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Розроблена математична модель буде корисною при проектуванні лазерних імітаторів стрільби. Ця модель дозволяє вибрати необхідну потужність джерела випромінювання та чутливість приймача, враховуючи втрати при проходженні сигналу через оптико-електронний тракт, для імітації певної стрілецької зброї. Велику увагу приділено обчисленню геометричного фактора, що зумовлює значну втрату енергії випромінювання, яке потрапляє на приймач. Запропонована модель дозволяє вибрати необхідну кількість фото приймальних пристроїв та їх розміщення на цілі, шляхом врахування траєкторії польоту та природного розсіювання куль. Також вона враховує зміщення цілі відносно лінії прицілювання та дає змогу розрахувати максимальну дальність дії системи при заданих ймовірністних характеристиках.

Ключові слова: лазерний імітатор стрільби, стрілецька зброя, оптико-електронний тракт, фото приймальний пристрій.

УДК 681.785.66, 681.7.013.82, 681.723.72

ВИМІРЮВАННЯ ФУНКЦІЇ РОЗСІЮВАННЯ ЛІНІЇ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ МІКРОСКОПА

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

Представлена методика вимірювання функції розсіювання лінії високоапертурної оптичної системи мікроскопа. Ця методика базується на використанні оптимальної лінійної цифрової фільтрації зображення напівплощини. Наведені результати вимірювання функції розсіювання лінії оптичних систем мікроскопа з типовими мікрооб'єктивними. Виконаний

порівняльний аналіз функцій розсіювання лінії оптичних систем з малою та великою апертурою. Доведено, що запропонована методика забезпечує високу точність вимірювання – похибка вимірювання становить 3 - 10 %.

Ключові слова: функція розсіювання лінії, оптична система, мікроскоп, цифрова лінійна фільтрація, точність вимірювання.

УДК 681.784

БЕЗКОНТАКТНЕ ВИМІРЮВАННЯ НЕСФЕРИЧНОЇ ФОРМИ ПЕРЕДНЬОЇ ПОВЕРХНІ РОГІВКИ ОКА

*Чиж І. Г., Сокурєнко В.М., Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

В останній час точне вимірювання рогівкової топографії стало предметом інтересу як офтальмологів, так і оптометристів. Детальні відомості про форму передньої поверхні рогівки сприяють ранній діагностиці різних рогівкових патологій, а також визначенню оптичних параметрів і характеристик рогівки, які потрібні для швидкого підбору контактних лінз та для забезпечення якісних результатів лазерної корекції зору фоторефракційними методами.

Переважає більш сучасних фото- та відеокератоскопів здійснюють аналіз викривлень відбитого від рогівки зображення диска Плачідо – набору концентричних кілець, встановлених перед оком пацієнта. Нажаль, при цьому доводиться використовувати припущення щодо ходу променів, які не завжди відповідають дійсності, що призводить до виникнення похибок вимірювань. Для подолання цих недоліків авторами було запропоновано метод послідовної рогівкової топографії. Результати проведених раніше експериментальних досліджень на сферичних моделях рогівки підтвердили дієздатність методу та ефективність розробленого оптимізаційного алгоритму.

Метою даної роботи є удосконалення зазначеного методу послідовної рогівкової топографії для роботи з більш складними формами поверхні рогівки, зокрема представленими поліномами Церніке.

В доповіді наведено математичний апарат відновлення несферичної форми рогівки за результатами послідовної точкової топографії. Апарат базується на використанні демпфованого методу найменших квадратів. На кожній ітерації процедури відновлення для кожного точкового джерела випромінювання здійснюється пошук уточнених вхідних апертур, проводиться розрахунок дійсних променів з урахуванням конструктивних параметрів оптичної системи приладу, аналізуються точкові діаграми в площині приймача зображення та уточнюються коефіцієнти Церніке, що представляють зовнішню поверхню ока. Таким чином, параметрами оптимізації є коефіцієнти Церніке, а критерієм оптимізації – мінімізація відхилень координат «центрів ваги» точкових діаграм.

В роботі представлені результати комп’ютерного моделювання роботи рогівкового топографера, на основі яких зроблені висновки про придатність запропонованого підходу та його потенційну корисність для офтальмологічної практики.

Ключові слова: око, офтальмологія, рогівкова топографія, поліноми Церніке, оптимізаційний алгоритм.

УДК 681.7.013.8

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СТЕНДА И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ МПФ ИНФРАКРАСНЫХ ОБЪЕКТИВОВ

*Кучеренко О.К., Кравченко И.В., Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина*

Задача измерения модуляционной передаточной функции (МПФ) инфракрасных объективов является чрезвычайно актуальной в связи с внедрением инфракрасных (ИК) систем в различные области науки и техники: исследование Земли из космоса, энергетика, медицина и т.п. Стендовая аппаратура предназначенная для измерения МПФ содержит ИК коллиматор с тест-объектом, фотоприемный блок, автоматические приводы его перемещения, управляющую автоматику, ЭВМ.

В случае применения одноэлементного пироэлектрического ИК-приемника фотоприемный блок строится по схеме однокоординатного механического сканирования изображения тест-объекта посредством привода от шагового двигателя (ШД). Механическое сканирование имеет недостатки обусловленные наличием накопленной погрешности от мертвого хода, сравнительно низким быстродействием при многократных измерениях для последующей статистической обработки.

Использование в фотоприемном блоке современных микроболометрических матриц позволяет заменить механическое сканирование электронным и исключить указанные недостатки. Однако разрешающая способность и динамический диапазон таких матриц ограничены. Размеры пикселя, определяющие разрешающую способность, составляют 50*50мкм. Использование для согласования пространственно-частотных характеристик испытуемого объектива и микроболометрической матрицы ИК-микрообъектива ставит перед разработчиками стендовой аппаратуры дополнительные проблемы по созданию таких микрообъективов.

Авторами разработана методика измерения параметров функции рассеяния испытуемого ИК-объектива с учетом требований автоматической фокусировки фотоприемного блока по максимальным значениям МПФ для ряда пространственных частот взятых с дискретностью $0,1V_p$, где V_p -расчетное значение предельной разрешаемой испытуемым объективом пространственной частоты. В ходе измерений одновременно могут быть получены фокусирующие кривые.

Предложенная методика может быть применена как при использовании одноэлементного ИК-приемника так и при применении микроболометрической матрицы. Предложен также алгоритм обработки сигнала микроболометрической матрицы позволяющий расширить ее динамический диапазон и разрешающую способность.

Ключевые слова: модуляционная передаточная функция; пироэлектрический ИК-приемник; микроболометрическая матрица; методика измерений.

УДК 681.787:621373

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЛАЗЕРНОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ОБЪЕКТОВ

Кучеренко О.К., Чуча А.М., Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

Лазерные интерферометры для измерения линейных перемещений находят широкое применение в промышленности, метрологии и научно-исследовательских учреждениях. Эти интерферометры используются как автономный измерительный прибор и как составная часть в системе управления различными высокоточными станками и комплексами.

Измерение линейных перемещений объекта проводят путем подсчета интерференционных полос прошедших мимо анализирующей диафрагмы приемника излучения. Известно несколько методов счета полос. В данной работе производится анализ метода дифференциальных фотоэлектрических сигналов.

Точность измерения рассматриваемого интерферометра зависит от многих факторов: нестабильности параметров источника излучения, турбулентности среды распространения излучения, дискретности отсчета и т. п. Нами были рассмотрены и проанализированы погрешности, связанные с источником излучения, а именно нестабильностью частоты и амплитуды излучения лазера..

Авторами разработана математическая модель лазерного интерферометра. В модели предусмотрена возможность варьирования входными параметрами и получения в численном и графическом виде различных выходных параметров интерферометра. В работе представлены блок-схемы имитаторов работы источника излучения, приемника излучения, блока электронной обработки сигнала, которые моделируются посредством компьютера. Также приведены эпюры электрических сигналов на выходе типовых блоков обработки сигналов лазерного интерферометра.

На основании результатов, полученных с помощью разработанной модели, было проанализировано влияния параметров источника излучения лазерного интерферометра на точность интерферометра.

Ключевые слова: лазерный интерферометр, линейное перемещение, погрешность, моделирование.

УДК 535.317.2.

ЛАЗЕРНІ МІКРОМЕТРИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ ДЕТАЛЕЙ

*Кучеренко О.К., Кучеренко А.А., Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна*

Лазерні мікрометри для виміру і контролю деталей широко використовуються в технологічних процесах і наукових дослідженнях. Визначальними є такі їх переваги, як безконтактність, інваріантність до матеріалу об'єкта що контролюється, завадостійкість, точність і висока продуктивність. Вимоги до жорсткості допусків на розміри об'єктів і відповідно до зменшення абсолютних значень погрішності виміру засобів контролю постійно зростають. Потрібен пошук нових методів і розробка на їх основі нових високоточних вимірювальних засобів. В даній роботі відбитий досвід по розробці вимірювальних оптичних й оптико-електронних приладів, які використовують безконтактні способи контролю лінійних розмірів об'єктів, високошвидкісну обробку вимірювальної інформації, що дозволило значно підвищити точність і продуктивність вимірювання.

Практичні вимоги до методів і пристроїв для лінійних вимірів розмірів деталей, з огляду на велику розмаїтість останніх, можуть значно розрізнятися. В більшості випадків сучасний мікрометр складається з двох блоків – випромінювача та фотоприймача, які співпрацюють за різними схемами і, як результат обробки сигналу, розраховуються параметри об'єкта вимірювань.

До основних технічних характеристик приладів такої групи відносяться: діапазон контролю, відстань між випромінювачем і приймачем, похибка вимірювання, тип лазера, максимальна споживана потужність, робоча температура, вага приймального і випромінюючого блоків.

Існують наступні варіанти схем використання лазерних мікрометрів для контролю параметрів об'єктів:

- а) вимірювання положення краю деталі;
- б) вимірювання розміру або положення деталі;
- в) вимірювання величини зазору або його положення;
- г) вимірювання зовнішнього або внутрішнього розміру, або його положення;
- д) вимірювання розміру або положення крупногабаритних об'єктів.

Розгляд науково-технічних рішень по даній групі приладів і систем дозволяє зробити висновок про те, що прийшов час систематизації розрізнених матеріалів по розробці лазерних мікрометрів для цілісного представлення про їх можливості й вишукування шляхів побудови високоточних автоматизованих систем контролю на базі цих приладів.

Ключові слова: лазерні мікрометри, лінійні розміри, вимірювання, контроль.

УДК 528.7:629.78

ГРАДУИРОВОЧНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ПРЕДПОЛЁТНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ СИСТЕМ ДЗЗ.

*Каминский С.Ф., Маркочев А.С., Соболев В.П., Казённое предприятие
«Центральное конструкторское бюро «Арсенал», г. Киев, Украина*

Для проведения предполётной энергетической калибровки систем ДЗЗ, разрабатываемых и выпускающихся на нашем предприятии, нами разработана структурно-функциональная схема специального градуировочного стенда, включающего три излучателя: интегральный - для проверки линейности градуировочных характеристик каналов систем ДЗЗ в рабочем динамическом диапазоне изменения измеряемой яркости (до 5 порядков) при неизменном спектральном составе излучения, монохроматический - для проверки относительной спектральной чувствительности каждого канала систем ДЗЗ и диффузный - для абсолютизации относительных шкал градуировочных и спектральных характеристик каналов систем ДЗЗ, полученных при помощи интегрального и монохроматического излучателей соответственно, за счёт передачи ему размера единицы СПЭЯ от рабочего эталона СПЭЯ или образцового средства измерений (ОСИ) СПЭЯ 1-го разряда, в зависимости от требуемой погрешности градуировки, методом сличения с ними при помощи спектрокомпаратора, а также устройство коммутации пучков, состоящее из плоских и сферических зеркал. Эти зеркала могут поворачиваться вокруг вертикальной оси, совмещённой с отражающей поверхностью плоских зеркал – для плоских зеркал и совмещённой с вертикальной плоскостью, содержащей оптическую ось, причём вертикальная ось является касательной к отражающей поверхности сферических зеркал – для сферических зеркал. При этом коэффициенты отражения плоских и сферических зеркал автоматически учитываются при передаче размера единицы СПЭЯ от рабочего эталона или ОСИ излучателям градуировочного стенда и последующей калибровке систем ДЗЗ посредством этих излучателей.

Рассмотрены основные источники погрешностей калибровки, а также меры, которые необходимо применять для их уменьшения. Для иллюстрации их значений приведены основные технические параметры метрологических комплексов, которые применяются в России, Белоруссии, Эстонии для калибровки и аттестации радиометров, базирующихся на космических спутниках Земли или других космических и авиационных носителях.

Ключевые слова: градуировочный стенд, энергетическая калибровка, ДЗЗ, МСУ, радиометры-яркомеры, СПЭЯ, структурно-функциональная схема.

УДК 621.757

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛИ ЛИНЕЙНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Гаевская Л.Р., Гураль Т.И., Соболев В.П., Овчар Н.И., Казённое предприятие
«Центральное конструкторское бюро «Арсенал», г. Киев, Украина*

Современному автоматизированному производству для оснащения скоростных технологических линий требуется широкая номенклатура бесконтактных датчиков - измерителей линейных размеров. Основными требованиями к таким датчикам являются высокая точность, быстродействие и надежность работы в цеховых условиях. Датчики, встраиваемые в автоматизированные линии, должны быть достаточно компактны и иметь аналоговый и цифровой выход для обеспечения возможности управления технологическим процессом.

Нами были разработаны два типа датчиков для контроля линейных размеров и положения объектов: оптический микрометр (ОМ) и триангуляционный датчик (ТД). Первый основан на проекционном методе измерений, а в основу работы второго положен классический геодезический метод дальнометрии. Датчики работают в узком спектральном диапазоне за счет использования мощных монохромных светодиодов и узкополосных интерференционных фильтров, устанавливаемых соответственно в осветительном и приемном каналах датчиков. Это в значительной степени снижает влияние внешней засветки производственных помещений. В качестве позиционно чувствительных приемников в датчиках используются ПЗС и КМОП линейки.

Испытания опытного образца ОМ подтвердили возможность получения следующих технических характеристик:

- | | |
|---------------------------|--------------|
| - диапазон измерений | 0,3...50 мм, |
| - частота измерений | 2 кГц, |
| - разрешающая способность | 0,25 мкм. |

Испытания опытного образца ТД показали, что он обеспечивает следующие технические характеристики:

- | | |
|---------------------------|---------|
| - диапазон измерений | 50 мм, |
| - частота измерений | 20 кГц, |
| - разрешающая способность | 1 мкм. |

В процессе разработки приборов созданы оригинальные методики и алгоритмы обработки результатов измерений, пакет разветвленного программного обеспечения. Электронные тракты ОМ и ТД выполнены с использованием современной электронной базы с применением ВГА элементов. Настройка, калибровка и испытания датчиков обеспечивались с помощью лазерного измерителя перемещений ИПЛ-МПЗ с разрешением 0,01 мкм.

Ключевые слова: оптический микрометр, триангуляционный датчик, линейные измерения.

УДК 621.757

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ СВЕРХГЛАДКИХ ПОДЛОЖЕК ЛАЗЕРНЫХ ЗЕРКАЛ

*Гаевская Л.Р., Гураль Т.И., Лихолит Н.И., Овчар Н.И., Соболев В.П., Казенное предприятие
«Центральное конструкторское бюро «Арсенал», г. Киев, Украина*

Лазерные зеркала относятся к основным элементам конструкции кольцевых лазеров, в значительной степени определяющими добротность резонатора и точностные характеристики их лазерных гироскопов. В связи с этим к качеству рабочих поверхностей подложек лазерных зеркал предъявляют высокие требования к уровню их шероховатости и точности формы.

Качественные подложки лазерных зеркал, имеющие рабочую световую зону $\varnothing_{\text{св}}=3-5\text{мм}$ и радиусы кривизны $R=2\div 8\text{м}$, должны иметь следующие основные параметры: шероховатость $R_q \leq 3\text{Å}$, отклонение формы поверхности от сферы $\Delta N \leq 0,02\text{мкм}$ и отклонение радиуса кривизны от заданного значения $\Delta R \leq 1\%$. Очевидно, что для обеспечения серийного производства подложек зеркал с требуемыми параметрами необходимо решение комплекса задач, как по созданию технологического процесса изготовления, так и по его метрологическому обеспечению.

Для достижения требуемых параметров была разработана специальная технология изготовления сверхгладких подложек лазерных зеркал. Достоинством такой технологии является ее серийноспособность, т.к. она допускает обработку подложек групповым методом.

Для контроля формы и радиуса кривизны сферических поверхностей нами был разработан сканирующий интерферометр белого света, выполненный по схеме Майкельсона, со световым полем $\varnothing_{\text{св}} = 12\text{мм}$ и вертикальным разрешением 1нм. Данный прибор по заданной программе обеспечивает контроль формы сферических поверхностей подложек зеркал в требуемых рабочих зонах (до $\varnothing_{\text{св}} = 0,1\text{мм}$) и радиусов кривизны в произвольном сечении этих зон.

В процессе исследований опытных образцов подложек лазерных зеркал для интегральной оценки шероховатости поверхности проводились измерения коэффициента светорассеивания σ . Контроль шероховатости рабочих поверхностей подложек проводится на атомно-силовом микроскопе Nano Scope III a Dimension 3000™.

Изготовленные по разработанной технологии производства подложки лазерных зеркал, согласно результатам контроля имели следующие параметры:

- шероховатость поверхности $R_q=(1...3)\text{Å}$;
- отклонение от сферы $\Delta N=(0,01...0,02)\text{мкм}$;
- отклонение радиуса кривизны от заданного значения $\Delta R=(0,5...1)\%$;
- коэффициент светорассеивания $\sigma=(1...3) \times 10^{-4}\%$.

Подложки с данными характеристиками пригодны для последующего получения зеркал высокоточных лазерных гироскопов.

Ключевые слова: лазерные зеркала, шероховатость поверхности, интерферометр белого света.

УДК 621.757

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФУНКЦИИ ПЕРЕДАЧИ МОДУЛЯЦИИ ИК ОБЪЕКТИВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТРИЧНОГО ПРИЕМНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ

Гураль Т.И., Кучеренко О.К., Лихолит Н.И., Овчар Н.И., Чуча А.М., Казённое предприятие «Центральное конструкторское бюро «Арсенал», г. Киев, Украина

Для ИК объективов измерение ФПМ имеет ряд особенностей, связанных с выбором средств анализа изображения тест-объекта. На практике наиболее оптимальным тест—объектом является щель, которая устанавливается в фокальной плоскости коллиматора. В этом случае ФПМ вычисляется по функции рассеяния линии с помощью преобразования Фурье.

Нами была предложена и апробирована методика измерения ФПМ с использованием матричного приемника излучения. Наряду с очевидными достоинствами использование матричных приемников в ИК – области приводит к ряду проблем, связанных с большой дискретностью и низким коэффициентом заполнения приемников.

Традиционная схема измерения ФРЛ с использованием микрообъектива для получения достаточного массива данных, необходимого для достоверного вычисления ФПМ, при характерном размере пикселя $\mu=30\dots50$ мкм имеет ограничения, связанные с недостаточной чувствительностью приемника.

Разработанная методика заключается в использовании небольшого наклона щели относительно строк (столбцов) матрицы, так, чтобы центр изображения щели на каждой последующей строке был смещен относительно предыдущей на величину μ/n . Увеличение числа точек ФРЛ достигалось сложением данных, полученных с n строк, в один массив с учетом сдвига каждого изображения. ФПМ определялась через Фурье преобразование ФРЛ с помощью встроенных функций программы Matlab 6.5.

В результате экспериментальной апробации методики в спектральном диапазоне 8...14 мкм получены значения ФПМ, близкие к расчетным.

Ключевые слова: функция передачи модуляции, функция рассеяния линии, матричный приемник излучения.

УДК 681.7

СКАНЕР ВИСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*Лихолит Н.И., Гринюк И.Е., Тягур В.М., Полежаев В.В., Ворох А.М., Азутин А.М.,
Ворох С.А., Казённое предприятие «Центральное конструкторское бюро «Арсенал»,
г. Киев, Украина*

Разрешающая способность сканеров дистанционного зондирования Земли в значительной степени зависит от характеристик оптических систем формирования изображения. Разработка таких систем связана с жесткими весовыми и габаритными ограничениями, а их характеристики должны иметь предельно малые абберационные искажения и быть стабильными при температурных и барических изменениях условий эксплуатации. В докладе представлены результаты моделирования и разработки сканера высокого разрешения (СВР).

СВР имеет 4 канала (панхроматический и 3 спектральных). С высоты орбиты 670 км панхроматический канал имеет разрешение 2,46 м и ширину полосы захвата 35,9 км в спектральном диапазоне $\Delta\lambda=0,5\dots0,89$ мкм. Спектральные каналы имеют разрешение 6,86 м и ширину полосы захвата 29,1 км в диапазонах $\Delta\lambda_1=0,5\dots0,59$ мкм, $\Delta\lambda_2=0,61\dots0,68$ мкм и $\Delta\lambda_3=0,79\dots0,89$ мкм.

Объектив СВР имеет фокусное расстояние $f'=1900$ мм и диаметр входного зрачка 330 мм, что позволяет при использовании серийных ПЗС-линеек без временной задержки накопления получить во всех каналах значения отношения сигнал/шум $SNR\geq 85$ для зенитного угла Солнца 30° и альбедо $\rho=0,2$. Оригинальная схема трехзеркального объектива без экранирования светового пучка позволяет получить значения модуляционной передаточной функции (МПФ), близкие к дифракционному пределу по всему полю зрения. В докладе приведена конструкция объектива и спектроделительной системы, представлены значения МПФ для всех четырех каналов, проанализировано влияние температуры на смещение фокальной плоскости и качество изображения. Представлены результаты проработки возможности юстировки сканера на орбите и результаты расчета линейного разрешения на местности.

Все характеристики сканера приведены в сравнении с ближайшими зарубежными аналогами.

Ключевые слова: сканер высокого разрешения, трехзеркальный объектив, модуляционная передаточная функция, линейное разрешение на местности, отношение сигнал/шум.

УДК 621.384.3

МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ТЕПЛОВІЗІЙНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ОБ’ЄКТІВ, ЩО ЗДІЙСНЮЮТЬ ОБЕРТАЛЬНИЙ РУХ

Грабко В.С., Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

Відомо, що тепловізійна техніка широко застосовується в різних галузях діяльності для дослідження об’єктів та процесів [1]. Особливо актуальними теплові вимірювання є в електроенергетиці на обладнанні, яке працює в зоні високих напруг.

Електричні машини відносяться до специфічного класу електрообладнання, оскільки для їхнього теплового діагностування, а особливо рухомих частин, необхідно застосовувати спеціальні тепловізори, які дозволяють сканувати теплове поле в полярній системі координат.

Очевидно, що звичайним тепловізором вимірювати теплові поля об’єктів, зокрема роторів електричних машин, складно, а в переважній більшості неможливо взагалі. Тепловий портрет при цьому містить різні фрагменти об’єкта контролю, що накладаються один на другий.

Серед відомих конструкцій тепловізорів існують розробки, наприклад [2], які дозволяють сканувати теплове поле електричних машин під час їх роботи, але ці пристрої мають недоліки структурного та конструктивного характеру. Крім того, для коректної роботи пристрою необхідно забезпечення суміщення геометричних осей пристрою та об’єкта контролю до початку теплових вимірювань. В деяких випадках таке суміщення геометричних осей реалізувати неможливо. При цьому теплове обертове поле сканується зі спотворенням теплового портрета.

В роботі пропонується мікропроцесорний тепловізійний пристрій, який дозволяє за двома алгоритмами вимірювати теплові поля об’єктів, що обертаються, з врахуванням обмежень, викладених вище.

Сигнали з лінійки інфрачервоних сенсорів надходять через комутатор, пристрій вибірки-зберігання та АЦП в мікроконтролер, який крім обробки інформації згідно запропонованих математичних моделей, виводить сигнал на відеоконтрольний блок та забезпечує керування кроковим двигуном оптоелектронної системи розгортки зображення у полярній системі координат.

Передбачена також функція виведення інформації по послідовному інтерфейсу у ПЕОМ для подальшої обробки та аналізу тепловізійного зображення.

Література.

1. Воронов С.А., Муравов С.А., Гордийко Н.А. Применение тепловизионных систем для теплового неразрушающего контроля // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2002. – №4. – С.43-47.
2. Устройство для бесконтактного измерения температуры: А.с. 1563366. СССР, МКИ G01 K13/08 / Б.И. Мокин, С.Л. Яблочников (СССР).

УДК 535.5:621.38

ПРОЕКТ УФ - ПОЛЯРИМЕТРА НА СТУДЕНТСЬКИЙ МІКРОСУПУТНИК
«КПІ»

¹⁾Неводовський П.В., ¹⁾Мороженко О.В., ¹⁾Неводовський Є.П., Фоменко О.О., ²⁾Гераймчук М.Д.,
¹⁾Головна астрономічна обсерваторія НАН України м. Київ, Україна; ²⁾Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Головна астрономічна обсерваторія НАН України та приладобудівний факультет Національного технічного університету України «КПІ» пропонує ПРОЕКТ ультрафіолетового поляриметра (УФП) на борт студентського мікросупутника «КПІ». Цей прилад призначений для визначення поляризаційної складової стратосферного озонового шару Землі.

Тонкий шар стратосферного озону повністю поглинає жорстке ультрафіолетове (УФ) сонячне випромінювання на довжинах хвиль $X < 300$ нм яке найактивніше впливає на клітини живих організмів. Тому роботи, які пов'язані з дослідженнями причин змін потужності шару стратосферного озону Землі є важливими і актуальними.

Пропонується ПРОЕКТ одноканального з обертовим модулятором ультрафіолетового ($\lambda \approx 250$ нм) поляриметра, який буде встановлено на борт студентського мікросупутника «КПІ» для дослідження сонячного випромінювання відбитого стратосферою Землі. Поляризаційні компоненти в цьому приладі визначаються за допомогою обертового аналізатора, який і виділяє всі чотири параметри Стокса. Супутник обертається навколо Землі по полярній орбіті, кут зору УФП направлено в сторону атмосфери Землі. Аналіз отриманих спостережних даних дає значення ступеня поляризації її площини в залежності від фазового кута, а це дозволяє визначити значення дійсної частини показника заломлення і розмірів стратосферного аерозоля, а також дослідити горизонтальну структуру аерозольного шару і його зміни в часі, а можливо і варіації рівня в атмосфері з максимальною концентрацією озону.

Ключові слова: ультрафіолет, поляриметр, стратосферний озон, мікросупутник.

Література

1. Мороженко О.В. Методи і результати дистанційного зондування планетних атмосфер-К.: «Наукова думка» 2004. - 647 с.
2. Неводовський Є.П., Видьмаченко А.П., Мороженко О.В. та ін. Український молодіжний супутник: дослідження аерозольного шару Землі за допомогою УФ-поляриметра//Космічна наука і технологія. 2004. Т.10, № 5/6. - С.27-32.

УДК 681.7

ПАНКРАТИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТИВ П-9-170

Лихолит Н.И., Полежаев В.В., Феоктистова Г.К, Куценко Н.И., Кузнецов В.М., Варено-

*ва А.Л., Сидоришина В.Н., Казённое предприятие «Центральное конструкторское бюро
«Арсенал», г. Киев, Украина*

В настоящее время широкое распространение получили приборы ночного видения, работающие в телевизионном режиме в ближней ИК области спектра. Входным устройством таких приборов является светосильный объектив с переменным фокусным расстоянием, где фотоприемным устройством является ПЗС матрица. В докладе представлены результаты моделирования и разработки панкратического объектива П-9-170.

Такие объективы могут быть использованы для построения телевизионных обзорных систем в авиации, где необходимо построение телевизионного канала с изменяющимся полем обзора от $\sim 24^\circ$, используемого в режиме поиска, до $1,5^\circ$, используемого в режиме распознавания и сопровождения объектов.

Объектив имеет следующие технические характеристики:

- | | |
|---|---|
| 1. Фокусное расстояние объектива | $f'_{\min} = 9$ мм, $f'_{\max} = 168$ мм, |
| 2. Относительное отверстие | 1:1,8 1:2,3 |
| 3. Поле зрения 2ω | $21^\circ 48' \times 28^\circ 04' 1^\circ 13' \times 1^\circ 38'$ |
| 4. Спектральный диапазон | 0,6...0,9 мкм |
| 5. Анализатор изображения | ПЗС-матрица 1/3" |
| - линейный размер | 3,6x4,8 |
| - размер пикселя | 6,35x7,4 мкм |
| 6. Интегральный коэффициент пропускания | 0,6 |
| 7. Виньетирование по полю зрения | 30% |
| 8. Полихроматические коэффициенты передачи модуляции не менее указанных в таблице | |

N	f'_{\min}		f'_{\max}	
	$Y'=1$	$Y'=2$	$Y'=0$	$Y'=2$
60	0,4	0,49	0,46	0,44

9. Дисторсия менее 1%

10. Изменение фокусного расстояния осуществляется подвижкой двух компонентов

11. Количество оптических компонентов 12(11 линз и 1 фильтр)

12. Габариты оптической схемы

- | | |
|------------------------|--------|
| - максимальный диаметр | 90 мм |
| - длина | 260 мм |

В объективе использованы две асферических поверхности второго порядка.

Ключевые слова: панкратический объектив, объектив с переменным фокусным расстоянием, модуляционная передаточная функция.

УДК 535.4, 681.787

ЛАЗЕРНІ СИСТЕМИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ НА БАЗІ ESPI – МЕТОДУ

Попов А.Ю., Тюрин О.В., Мандель В.Ю., Рімашевський О.А., Екало К.В., НДІ фізики Одеського національного університету імені І.І.Мечникова, м. Одеса, Україна

Метод фазомодульованої спекл-інтерферометрії, відомий у англійській літературі як ESPI (electronic speckle pattern interferometry), є сучасним аналогом класичного методу двоекспозиційної голографічної інтерферометрії, що традиційно використовується як база для розробки методів неруйнівного контролю, діагностики та прецизійних вимірювань. ESPI метод має всі його переваги (можливість досліджувати деформації та переміщення об'єктів великого розміру та довільної форми без сканування лазерним пучком з точністю до $1/10$ довжини хвилі лазерного випромінювання), та в ньому відсутні його недоліки. Цей метод розробляється як комп'ютерно - орієнтований, в якому не тільки обробка інформації, але весь процес вимірювань здійснюється під комп'ютерним керуванням. Введення оптичної інформації у комп'ютер здійснюється за допомогою телекамери (відсутня довга та коштозна проміжна стадія реєстрації голограм), що значно збільшує оперативність методу. Основна інформація у ESPI методі отримується завдяки вимірам не амплітуди, а фази окремих спеклів у зображенні об'єкту, з подальшою кореляційною обробкою, що підвищує співвідношення сигнал-шум як мінімум на 2 порядки. Важливо, що на відміну від голографічного методу, розшифровка картин кореляції фаз, які у ESPI методі є аналогом інтерферограм, є однозначною, отже однозначно визначається напрямком переміщень.

У НДІ фізики ОНУ на базі методу ESPI розроблено низку лазерних комп'ютерно - керованих вимірювальних систем неруйнівного контролю, діагностики та виміру параметрів об'єктів складної форми з дифузною та дзеркально відбиваючою поверхнею, або прозорих. Розроблені методики дають можливість діагностувати неоднорідність та неізотропність матеріалів, наявність мікротріщин, механічних напружень, варіацій та змін у часі коефіцієнту заломлення, тощо, та визначати механічні параметри, наприклад такий складний для виміру, як коефіцієнт Пуассона. Велика увага приділена визначенню оптимальних методів тестуючого збурення об'єктів (механічне навантаження, температура, ультразвук, електричне поле та ін.) для кожної задачі. Системи використано для тестування металевого прокату, пластиків, композитних та сотових матеріалів, кремнієвих шайб. У системах можуть використовуватися лазери інфрачервоного діапазону, що дає змогу неподразливо тестувати такі вразливі об'єкти, як очі людини.

У іншому варіанті ESPI метод з додатковою частотною модуляцією вимірювального лазерного світла було використано для створення системи побудови топограм (реконструкції поверхні) об'єктів складної форми.

УДК 681.51

СИСТЕМА ОПТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ КОНТРОЛЯ

*Логунов А.Н., Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля,
г. Луганск, Украина*

Создание эффективных систем контроля изделий на протяжении всего технологического процесса, является одним из перспективных путей решения проблемы повышения качества продукции и рационального использования дорогостоящего природного сырья. Ценность полученной информации существенно повышается, если системы контроля используются совместно с системами автоматизированной оптической идентификации объектов контроля, которые основаны на использовании технологии цифровой обработки изображений и распознавании образов.

При переработке природного сырья в кожевенной промышленности жёсткие химические, механические и термические воздействия на изделия во время осуществления технологических процессов не позволяют использовать поверхностную маркировку изделий, применима только маркировка перфорацией. Применение усовершенствованных технологий маркировки позволило расширить сферу применения систем автоматизированной оптической идентификации изделий и повысить достоверность контроля. В частности:

- разработана математическая модель и найдены оптимальные параметры перфорационного маркера, которые обеспечивают минимизацию площади и трудоемкости нанесения маркера;
- получен критерий достоверности классификатора системы распознавания, который связывает исходные, управляющие и проверочные параметры классификатора;
- определены способы повышения помехоустойчивости посредством выбора характеристик перфорационного маркера, управляющих и проверочных параметров при автоматизированном считывании;
- разработана методика и программное обеспечение для проведения машинного эксперимента;
- сформирован пакет тестовых изображений перфорационной маркировки, который полностью отображает все проблемы считывания маркировки шкур в производственных условиях;
- разработан и внедрен в производство программный комплекс автоматизированного нанесения и считывания маркировки, а также взаимодействия с АСУТП и АСУП, получены положительные результаты его применения в условиях реального производства.

Ключевые слова: идентификация, перфорация, фильтрация, изображение, искажения, маркировка, геометрические признаки.

УДК 616.717

МОДИФІКАЦІЯ РЕЄСТРАТОРА «ЕФЕКТУ КІРЛІАН» РЕК-1 ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ

*Болдескул О.Е., Єросов Ю.І., Гулевська Г.І., Інститут води та екології, м. Київ, Україна;
ВАТ «Український НДІ технології машинобудування», м. Дніпропетровськ, Україна*

До кінця ХХ століття у світі розроблено більше 100 варіантів приладів для візуалізації Кірліан-світіння об'єктів живої та неживої природи. Всі ці прилади мають однакову основну частину, що складається з генератора імпульсів високої напруги, які подаються на плоский ізольований електрод; формуюче електричне поле, де розміщується досліджуваний об'єкт. При цьому кожен пристрій має свої конструктивні особливості, обумовлені типом застосованого для фіксації світіння фотоматеріалу або фоточутливого приймача. Одержане за допомогою Реєстратора «Ефекту Кірліан» РЕК-1, Кірліан-світіння має когерентний характер і візуалізується у вигляді газорозрядної корони, що складається з внутрішнього кільця правильної форми, з витікаючими з нього радіальними стримерами, які створюють «стримерне кільце», оточене промінням тонкої люмінесценції. Зображення одержується на рентгенівській фотоплівці.

Нами проаналізовано три конструкції пристроїв для візуалізації краплі води: контактний, метод вільної краплі та крапля в планшеті. Запропонований пристрій дозволяє спроектувати зображення світіння через мікроскоп МБС-10 та відеоокуляр НВ-1 на екран монітора комп'ютера, з послідуною математичною обробкою зображення.

При розробці приладу оптимізовано тривалість імпульсу збудження та його амплітуду.

В якості ілюстрації приведено зображення Кірліан-світіння крапель води «Моршинська», «Даяна», бюветна, водопровідна. Проведено аналіз одержаних результатів, доведено залежність вигляду Кірліан-корони від якості питної води.

Ключові слова: реєстратор «Ефекту Кірліан», корона, світіння, стримерне кільце, крапля води.