

СЕКЦІЯ 2

ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ

УДК 528.7: 629.78

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАДІОМЕТРИЧНОГО КАЛІБРУВАННЯ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ СКАНУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Михеєнко Л.А.

*Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”,
м. Київ, Україна*

Радіометричне калібрування багатоспектральних скануючих пристроїв (БСП) космічного базування є одним з найважливіших етапів їх передпольотної підготовки, від метрологічного рівня якого багато в чому залежить якість інформації, що отримується з космічного апарату. Однак існуючі системи калібрування вже не задовольняють вимогам сучасних і перспективних космічних апаратів високої роздільної здатності. Особливо гостро ця проблема стосується України, де розпочато розробку БСП високого рівня, але практично відсутня метрологічна база для їх калібрування.

Метою даної роботи є розробка рекомендацій щодо метрологічного забезпечення вимірювань енергетичних характеристик і радіометричного калібрування вітчизняних БСП на основі існуючої в Україні еталонної і елементної бази.

Зокрема в роботі розглядаються фізичні величини та їх одиниці, що використовуються при радіометричному калібруванні, аналізуються методи вимірювань енергетичних характеристик БСП, пропонуються нові оригінальні методи та засоби прецизійного калібрування космічних систем, оцінюються їх перспективи з урахуванням існуючої в Україні системи передачі одиниці спектральної густини енергетичної яскравості.

Окремо обговорюються менш точні, але більш доступні в Україні методи побічного калібрування БСП. Для практичного використання, в роботі наводяться довідкові данні щодо найбільш перспективних і поширених прецизійних джерел випромінення, монохроматорів, оптичних систем та приймачів випромінення, які можуть використовуватися у вимірювальних та калібрувальних установах.

Отримані результати будуть цікаві спеціалістам в галузі оптичної радіометрії і особливо розробникам апаратури для енергетичного калібрування БСП високої роздільної здатності.

Література

1. Михеєнко Л.А., Боровицкий В.Н. Метрологическое обеспечение радиометрической калибровки оптико-электронных систем дистанционного зондирования Земли // Космічна

наука і технологія. – 2009. – С. 3 - 15.

Ключові слова: оптико-електронні системи дистанційного зондування Землі, оптична метрологія, радіометричне калібрування.

УДК 535.241.63

ДИФФУЗНИЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ ПЕРЕМЕННОЙ ЯРКОСТИ НА СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДАХ

Михеенко Л.А.

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

В последнее время наблюдается интенсивное развитие прецизионных видеосистем с многоэлементными приёмниками излучения: цифровых фотоаппаратов, веб-камер, камер для оптической микроскопии, систем наблюдения и других. Дальнейшее усовершенствование таких систем сдерживается недостаточным уровнем методов и средств измерения их энергетических характеристик, в первую очередь – приборов, создающих переменное яркостное поле высокой интенсивности и однородности в пределах значительной апертуры. Используемые для этой цели диффузные излучатели на основе интегрирующих сфер с галогенными лампами, хотя и отличаются высокими радиометрическими характеристиками, но имеют серьёзные недостатки: напряжённый температурный режим, низкую стабильность и высокое энергопотребление.

Существенно уменьшить отмеченные недостатки можно при использовании мощных светоизлучающих диодов. Применение светоизлучающих диодов в диффузных излучателях имеет ряд особенностей, связанных с узкой индикатрисой излучения, сильной температурной зависимости мощности излучения, своеобразной спектральной характеристикой и ряд других. Для проектирования диффузных излучателей обычно используется классическая методика, которая предназначена для стандартных источников – галогенных ламп. Особенности, присущие источникам косинусного типа в этой теории не учитываются. Целью данной работы является разработка и исследование математической модели диффузного излучателя переменной яркости на излучающих светодиодах и её экспериментальная проверка.

Автором получены и проанализированы основные зависимости, связывающие яркость выходной апертуры с радиометрическими и конструктивными параметрами светоизлучающих диодов, рассмотрены спектральные характеристики диффузного излучателя для различных источников излучения и покрытий интегрирующей сферы, выполнен метрологический анализ системы калибровки, предложены инженерные методы конструирования диффузных излучателей с заданными параметрами.

Ключевые слова: диффузный излучатель, светодиод, интегрирующая сфера.

УДК 621.384.3

DESIGN OF A 16.5 MEGAPIXEL CAMERA LENS FOR A MOBILE PHONE

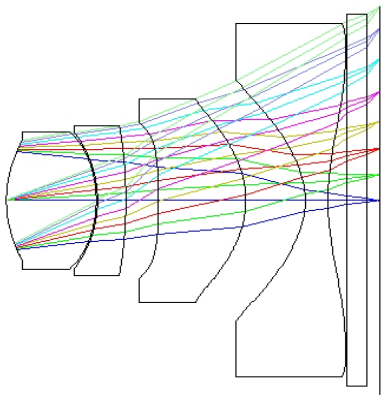
Borovytsky V. N., Ma YuKe

National technical University of Ukraine the “Kiev polytechnic institute”, Kiev, Ukraine

A digital camera (or digicam) is a camera that encodes digital images and videos digitally and stores them for later reproduction. Most cameras sold today are digital, and digital cameras are incorporated into many devices ranging from PDAs and mobile phones (called camera phones) to vehicles. 15 years ago, phones with cameras inside seemed pointless, heavy bricks that gave you grainy approximations of images.

Some phones feature a camera that gives them the ability to work as a digital camera. Often the camera is also able to shoot video. November 2000 saw the first phone with camera hit the market, the Sharp J-SH04, but it failed to make much of an impact. In fact the J-SH04 never made it out of Japan - we could go as far as to say the first camera phone was actually a bit of a flop. A 0.11MP snapper adorning the rear and a 256 color display is enough to make you weep, but at least it was lightweight at just 74g. Fast forward to today, and we now have a phone with a 16MP camera, the Samsung GALAXY S6.

The most important characteristics of a camera are the resolution (measured in megapixels), lens focus type (either fixed or automatic) and the presence of a flash (Pic.1).



Pic.1 – Mobile phone camera lens

To design a 16-megapixel camera lens in a compact size (total optical length < 6mm) is a hard work. A sensor pixel size of 1.12 micrometer means a high Nyquist sampling frequency of 446 lp/mm. A sensor diagonal length of 6.95mm and a compact size demand a camera lens of an effective optical length of 4mm and a large field of view (FOV) of 76 degree as typical values. All of these parameters imply all of the optical aberrations of the lens are large. It is very difficult to reduce and balance all these aberrations.

The authors used a 1P1G2P lens configuration to design a 16.5 megapixel camera lens. It is the smallest number of pieces of lens to design such a camera lens for a mobile phone over 16 megapixels.

The design results show that the lens is diffraction limited behaved.

Key words: mobile phone camera lens, 16.5 megapixel sensor, Zemax.

УДК 681.7

ВИКОРИСТАННЯ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ СТВОРЕННЯ АСФЕРИЧНИХ ЛІНЗ СУБ-ТГЦ ДІАПАЗОНУ

Шевчик-Шекера А.В.

*Інститут фізики напівпровідників ім. В.С. Лашкарьова НАН України, м. Київ, Україна
shevchik_anya@mail.ru*

В багатьох областях науки і техніки існує потреба в формуванні зображень субтерагерцового (суб-ТГц) діапазону спектра. Такі системи активно використовуються в навігації, біології, для медицини та безпеки, а також для виявлення наркотичних та вибухових речовин.

Одними з важливих компонентів суб-терагерцової техніки є оптичні елементи. На сьогодні запропоновано багато системи з використанням позаосьових дзеркал та лінз. Основною задачею залишається вибір матеріалу та технології виготовлення, з урахуванням оптимального співвідношення ціна-якість.



Фотографія виготовленої лінзи із фторопласту



Фотографія виготовленої лінзи із АВС

Розглянута можливість використання нової технології виготовлення оптичних елементів за допомогою 3D друку, що дозволяє отримати точність відтворення деталей (від 100мкм – 20 мкм) в поєднанні з високою якістю та доступною ціною.

Проведені розрахунки та виготовлені асферичні лінзи для суб-ТГц діапазону спектра. Представлено порівняльні дані лінз виготовлених на токарному станку з використанням заздалегідь прорахованого і виточеного різця, та з використанням 3D принтера Makerbot Replicator 2X.

Ключові слова: суб-ТГц, асферичні лінзи, 3D друк.

УДК 534.42

БАГАТОПОРЯДКОВА ДИФРАКЦІЙНА ЛІНЗА ІЗ ЧАСТКОВО

СКОРИГОВАНОЮ СФЕРИЧНОЮ АБЕРАЦІЄЮ

Сірий Є.А., Колобродов В.Г.

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

Як відомо, багатопорядкова дифракційна лінза (БПДЛ) на відміну від звичайної ДЛ для світла із розрахунковою довжиною хвилі вносить фазову затримку $2\pi p$, де p – ціле число більше одиниці (у випадку звичайної ДЛ $p=1$). Тому розміри мікропрофілю БПДЛ значно збільшені по відношенню до звичайної ДЛ: радіуси дифракційних зон збільшені у \sqrt{p} , а глибина – у p разів.

Зазвичай, такі лінзи розраховуються у параксіальному наближенні. Проте при проектуванні відносно світлосильних інфрачервоних БПДЛ таке наближення є неточним, тому запропоновано непараксіальний підхід, для якого непараксіальне рівняння положення дифракційних зон лінзи доповнено оригінальним непараксіальним рівнянням для розрахунку глибини канавок.

На основі традиційного і запропонованого підходів було спроектовано дві германієві БПДЛ із $p=12$ для роботи у спектральному діапазоні 8–12 мкм, що мають по 13 дифракційних зон. Розрахункові фокусні відстані та довжини хвиль лінз складають 50 мм і 10 мкм відповідно.

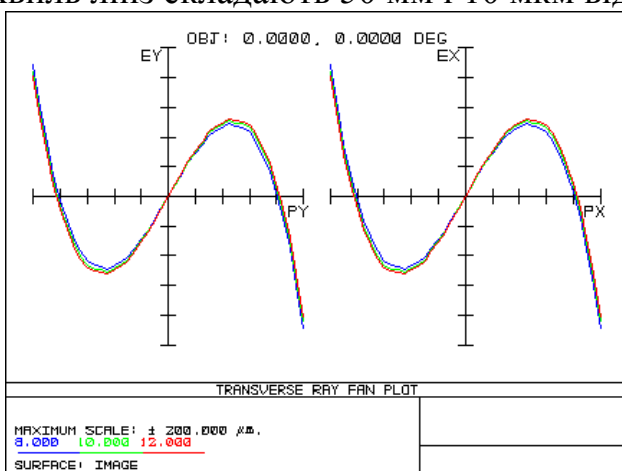


Рис.1 – Діаграма аберацій променів параксіальної БПДЛ

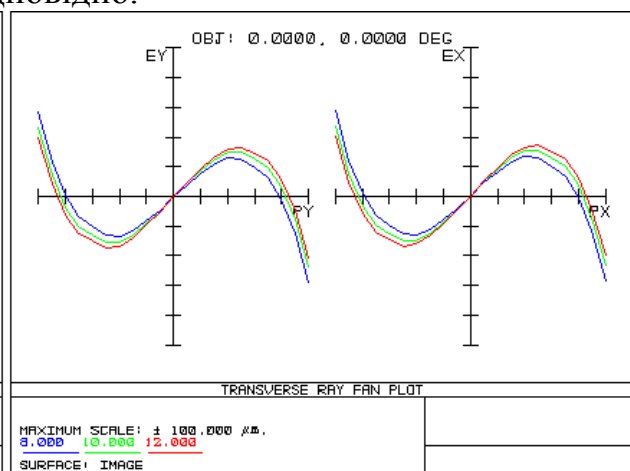


Рис.2 – Діаграма аберацій променів непараксіальної БПДЛ

У результаті аналізу було визначено, що для 13-ої дифракційної зони непараксіальної БПДЛ радіальне положення на 0,097мм більше, ніж у параксіальної, а глибина канавки – зменшена на 1,5%. Моделі розрахованих лінзи було імпортовано у програму «ZEMAX», де було проведено аналіз її оптичних характеристик. На рис. 1 і рис. 2 представлені діаграми аберацій променів параксіальної та непараксіальної БПДЛ. Як видно із рисунків, сферичну аберацію розрахованої запропонованим способом непараксіальної лінзи по відношенню до параксіальної вдалося зменшити у три рази.

Ключові слова: багатопорядкова дифракційна лінза, сферична аберація.

УДК 535.2 681.7

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПОНЕНТІВ НЕЗОБРАЖУЮЧИХ ОПТИЧНИХ СИСТЕМ

Кравченко І.В.

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

Незображуючі оптичні системи знаходять широке застосування в якості приймальних та освітлювальних каналів різноманітних пристроїв та перетворювачів. Зокрема, в медицині [1].

Вимоги, які висуваються до таких оптичних систем, потребують наявності методик та засобів розрахунку параметрів, аналізу впливу кожної поверхні, моделювання дії елементів з високою точністю та адекватністю співпадіння розрахованих параметрів із властивостями, що вимірюються експериментально. Зазвичай, цільовою функцією таких оптичних систем є визначений розподіл освітленості.

Наводяться результати обрахунків освітленості в популярних комерційних універсальних оптичних пакетах класу "lens design", "ray tracer" та спеціально розробленій комп'ютерній моделі для типового концентруючого оптичного елемента з чотирма робочими поверхнями: сферичною, циліндричною, конічною та пласкою. Проводиться порівняння теоретичних розрахунків з експериментальними даними вимірювання освітленості зразка. Для згладжування графіків та фільтрації високочастотних шумів застосована фільтрація вікном Хамана.

Вказується, що в "класичних" оптичних пакетах недостатньо можливостей для аналізу оптичних елементів з концентричними робочими поверхнями.

Рекомендується для проектування незображуючих оптичних систем застосовувати "ray tracer" моделі на базі геометричної оптики, які забезпечують співпадіння з експериментальними вимірюваннями з розбіжністю до десяти відсотків.

Показується, наявність навіть у найрозповсюджених універсальних пакетах похибок в обрахуванні ходу "вторинних" променів. Відмічається трудомісткість та необхідність залучення додаткових засобів для отримання графіків, кількісних та аналітичних даних освітленості, поповерхневого аналізу параметрів оптичної системи.

Література

1. Дистальний оптичний інструмент. Патент України МПК: А61В 17/00, А61В 6/08 № 21778, 30.04.1998

Ключові слова: освітленість, незображуюча оптика, моделювання.

УДК 621.382

THE IMPACT OF PHASE DISTORTIONS IN MATRIX IMAGERS WITH INFORMATION FUSION ON IMAGE QUALITY

Mykytenko V.I.

National technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine.

It is known that the image sampling with matrix detectors (MD) is accompanied by frequency aliasing if an object contains elements of the periodic frequency ν_o , which is comparable with Nyquist frequency ν_N . The frequency of additional signal is $\nu_d=2\cdot(\nu_N-\nu_o)$. The shape of the output signal and the frequency characteristics of matrix optical-electronic system (MOES) depend not only on the displacement of MD pixels and object periodic structure (Fig. 1), but also on their relative inclination (Fig. 2).

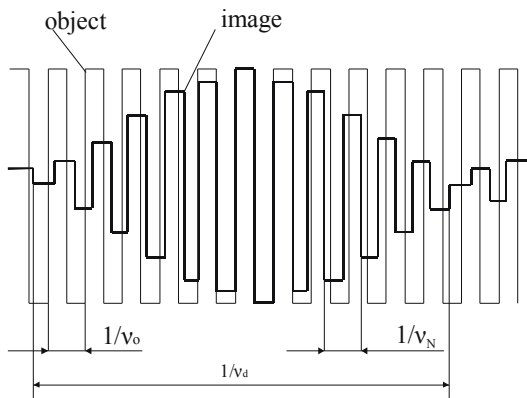


Fig. 1 – Contrast aliasing with the longitudinal displacement

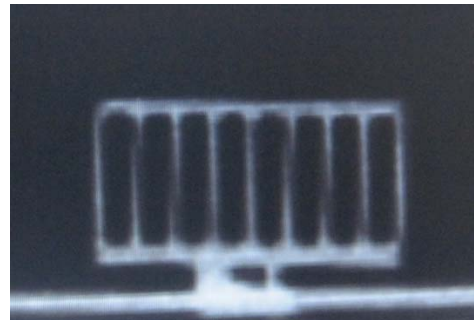


Fig. 2 – Contrast aliasing with the relative rotation

In two-channel MOES such phase distortions may be present independently of each other. Image fusion in channels nonmetering these distortions can lead to substantial loss of high-frequency components of the signal, which is very important while target detection and recognition.

The report studies sampling effect to modulation transfer function of two channel MOES with pixel level image fusion. A method for reducing the aliasing effects due to two channel MOES operation in panning mode was proposed. Also an equation for calculating modulation transfer function of the system was obtained. The resulting equation allows to adapt the parameters of input blocks of MOES channels to the nature of the spatial spectrum of background environment. Some features of visual perception of the panning mode imaging with two channel MOES was studied.

Keywords: multi-sensor imager, image fusion, aliasing distortion, image sampling.

УДК 621.382.2

ВИПРОМІНЮВАЧ НА ОСНОВІ КАРБІДУ КРЕМНІЮ З МАЛИМ РОЗМІРОМ ЗОНИ СВІТІННЯ

¹⁾Воронов С.О., ²⁾Генкін О.М., ³⁾Генкіна В.К., ⁴⁾Родіонов В.М.

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

¹⁾s.voronov@kpi.ua, ^{2), 3)}genkin_a@ukr.net, ⁴⁾v.rodionov@kpi.ua

Випромінювач виготовлено на основі SiC–6H. Використання пробійної електролюмінесценції визначає широкий пологий спектр випромінювання, що перебиває усю видиму ділянку, не залежний від величини живильного струму. Мікросплавна технологія дозволила отримати малі розміри р-п-переходу. Розроблено нестандартні методики вимірювання основних параметрів випромінювача.

Прилад має наступні технічні характеристики. Спектральний діапазон 400 – 800 нм; максимум спектрального розподілу енергії випромінювання 480 – 520 нм; максимальна потужність випромінювання 10^{-7} Вт; яскравість зони випромінювання 10^4 кд/м²; температурний коефіцієнт потужності випромінювання < 0,1 %/К; нестабільність потужності випромінювання на протязі 10^4 годин роботи < 3 %; діаметр зони світіння 50 мкм; робочий струм до 0,1 А; час релаксації інтенсивності випромінювання < 1 нс; діапазон робочих напруг 16 – 27 В; діапазон робочих температур (–60) – (+120) °С.

Прилад може бути застосований для імітації зірок, у джерелах нано– та субнаносекундних імпульсів випромінювання, як опорне джерело у оптично–електронних приладах.

Ключові слова: карбід кремнію, пробійна електролюмінесценція, р-п - перехід, світлодіодний випромінювач.

УДК 621.32:621.332.2:621.373.54

СТАБІЛЬНІ ФОРМУВАЧІ ІМПУЛЬСНОГО СТРУМУ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДЖЕРЕЛ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ, ПРАЦЮЮЧИХ У РЕЖИМІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРОБІЮ

¹⁾Воронов С.О., ²⁾Генкін О.М., ³⁾Генкіна В.К., ⁴⁾Родіонов В.М.

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

¹⁾s.voronov@kpi.ua, ^{2), 3)}genkin_a@ukr.net, ⁴⁾v.rodionov@kpi.ua

Розроблена методика та досліджена часова нестабільність формувачів наносекундних імпульсів струму, амплітудою декілька ампер, на різних типах дешевих епітаксіально-планарних п-р-п транзисторів, працюючих у лавинному

режимі. З’ясовано, що на протязі тривалої роботи у транзисторів малої потужності суттєво змінюється вольт–амперна характеристика пробою колекторного переходу у бік збільшення напруги при сталому струмі. Збільшення амплітуди сформованих імпульсів складає декілька вольт. Найбільші зміни відбуваються у початковий період напрацювання. Такі транзистори зручно використовувати після попереднього остарювання. Суттєва нестабільність у транзисторів середньої потужності не виявлена.

Розроблена методика відбору придатних транзисторів. Виявлено, що найбільша частка придатних транзисторів відповідає певній напрузі пробою колекторного переходу (130 – 150 В).

Відпрацьована оригінальна схема формувача на лавинному та МДН-транзисторі, яка дозволяє формувати субнаносекундні імпульси струму через джерела оптичного випромінювання працюючі у режимі електричного пробою на основі карбиду кремнію з малим розміром р-n-переходу. При цьому кількість випромінених фотонів у імпульсі досягає декількох сотень.

Прилади можна використовувати у каналах стабілізації чутливості сцинтиляційних спектрометрів, а також для визначення часових характеристик швидкодіючих фотоприймачів, працюючих у одноелектронному режимі.

Ключові слова: формувачі імпульсного струму, режим улектричного пробою, лавинні транзистори.

УДК 535.317.24

ОБ’ЄКТИВ З ШИРОКИМ ПОЛЕМ ЗОРУ ДЛЯ ОФТАЛЬМОЛОГІЧНИХ ПРИЛАДІВ

Гордієнко В.І., Мазурін І.В., Шкана В.Ф.

*Державне підприємство Науково-виробничий комплекс «Фотоприлад», м. Черкаси,
Україна
sokol@photopribor.cz.ua*

Для обстеження органу зору з можливістю відео-(фото-)реєстрації зображення сітківки ока існують офтальмоскопи до складу яких входить об’єктив, який формує зображення на телевізійній (цифровій) матриці.

Об’єктив повинен бути світлосильним, бо коефіцієнт відбиття від сітківки ока досить малий, близько 0,01% і, також, з широким полем зору, щоб було можливо спостерігати краї сітківки ока.

Такі об’єктиви вже існують, наприклад в офтальмоскопі Retcam Portabl (США), але обстеження сітківки цим об’єктивом можливо проводити тільки контактним методом. Тобто між рогівкою ока та крайньою поверхнею оптики об’єктива повинна бути імерсійна рідина. Такий метод незручний і вимагає більше часу для дослідження.

Тому потреба в світлосильному об’єктиві з широким полем зору (не менше 128 градусів), з допомогою якого можна обстежувати сітківку ока неконтактним способом (тобто без використання імерсійної рідини) є актуальною.

Пропонується об’єктив з полем зору 128° з винесеною зіницею на 4 мм. Технічні характеристики цього об’єктива наведені нижче:

Об’єктив з широким кутом зору з винесеною вхідною зіницею

Фокусний відрізок	$F'=13.4\text{мм};$
Поле зору	128°;
Виніс вхідної зіниці	4 мм;
Діаметр вхідної зіниці	1,5 мм;
Поле зору в просторі зображень	28,5 мм;
Світовий діаметр першої поверхні оптики	12 мм;
Довжина об’єктива	31,7мм;
Маса	150 грам

Об’єктив складається з трьох менісків, орієнтованих увігнутими поверхнями до вхідної зіниці і меніску, який склеєний з двох лінз і орієнтований випуклою поверхнею до вхідної зіниці.

Максимальний світовий діаметр має склеєний меніск і складає 29,3 мм.

Для досягнення широкого кута зору і задовільної якості зображення в цьому об’єктиві використовуються оптичні елементи, виконані з важких флінтів фірми SCHOTT та надважких кронів. З метою технологічного виробництва поверхні оптичних елементів є сферичними. Об’єктив працює сумісно з іншою системою лінз, створюючи телескопічну систему Кеплера.

Ця система дозволяє контролювати сітківку ока в полі зору 128° як візуально, так і з допомогою телевізійної камери з матрицею 1/2 дюйма, не контактуючи з рогівкою ока.

Ключові слова: об’єктив, широке поле зору, офтальмологія, меніск.

УДК 621.757

ДОСЛІДЖЕННЯ КВАЗИДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЗЕРКАЛА КІЛЬЦЕВОГО ЛАЗЕРА З П’ЄЗОКОРЕКТОРОМ ЗА ДОПОМОГОЮ ІБС «РЕЛЬСФ»

¹⁾Гураль Т.І., ²⁾Кирилюк М.Є., ³⁾Настич В.Н., ⁴⁾Овчар М.І.

Казенне підприємство спеціального приладобудування «Арсенал», м.Київ, Україна

¹⁾tigur2@ukr.net, ²⁾kolyakuryliuk@g.ail.com, ^{3), 4)}nyckolayovch@yandex.ru

При застосуванні He-Ne лазерів неперервної дії для метрологічних цілей важлива стабільність частоти їх вихідного випромінювання. Стабільність

частоти F вихідного випромінювання лазера прямо пропорційна стабільності периметра резонатора L : $\Delta F/F = \Delta L/L$. Для зменшення впливу зовнішніх факторів на периметр лазера, резонатор виготовляється з матеріалу з малим коефіцієнтом термічного розширення (ситал СО-115М або Zerrodur). Підстроювання периметра в діапазоні 2...3 мкм здійснюється переміщенням відбиваючої поверхні одного або двох дзеркал, що утворюють резонатор. Для цього використовується дзеркало спеціальної мембранної конструкції. На таке дзеркало встановлюється п'єзопривід біморфного типу, який шляхом силового тиску на мембрану дзеркала викликає її переміщення, що дозволяє регулювати периметр резонатора.

Метою даної роботи є дослідження динамічних характеристик дзеркал мембранної конструкції, а саме: кутових та лінійних зміщень відбиваючої поверхні та зміни її форми. Дані характеристики дозволяють провести об'єктивний аналіз різноманітних варіантів побудови мембранного дзеркала та оптимізувати його конструкцію. До цього часу подібні вимірювання виконувались тільки непрямими методами, наприклад, шляхом оцінки зміни добротності кільцевого лазера.

Нами були проведені дослідження двох конструкцій дзеркал: одно- та двомембранного типу. На інтерферометрі білого світла полем зору 13×11 мм і з роздільною здатністю по висоті 1 нм. В процесі дослідження на п'єзопривід подавалася напруга в діапазоні від -200 В до $+200$ В від універсального блоку живлення.

Результати вимірювання параметрів дослідних зразків сферичних дзеркал мембранного типу з радіусом кривизни $R = 4000$ мм показали, що відбиваюча поверхня зазнає лінійних та кутових переміщень, а також змінює радіус своєї кривизни. Для відбиваючої поверхні двомембранного дзеркала одержали діапазони лінійних та кутових переміщень відповідно 1 мкм та 5 кут.сек. при зміні радіуса її кривизни в діапазоні 140 мм.

Ключові слова: лазерні дзеркала, кільцевий лазер, інтерферометр білого світла.

УДК 621.378.525:535.8

ПІДВИЩЕННЯ ГЛИБИНИ МОДУЛЯЦІЇ СИГНАЛУ ЛАЗЕРНОГО ДОПЛЕРІВСЬКОГО АНЕМОМЕТРА

Дивнич В.М.

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

В лазерному доплерівському анемометрі (ЛДА) диференціального типу в кожному напрямку прийому розповсюджуються два розсіяних променя що мають свій стан поляризації та фази. Це приводить до того, що «елементарні»

доплерівські сигнали, які утворюються при прийомі розсіяного випромінювання в певному напрямку, мають свою фазу. За рахунок низького ступеня фазового узгодження «елементарних» доплерівських сигналів коефіцієнт глибини модуляції доплерівського сигналу може бути наближеним до нуля. Фази «елементарних» доплерівських сигналів, що утворюються при прийомі розсіяного випромінювання в напрямках, симетричних відносно площини, яка перпендикулярна площині лазерних променів та проходить через бісектрису кута між ними мають протилежні знаки [1]. В роботі показано, що прийом розсіяного випромінювання в межах половини апертурної діафрагми дозволяє підвищити коефіцієнт глибини модуляції доплерівського сигналу але не суттєво.

Встановлено – низьке значення коефіцієнта глибини модуляції доплерівського сигналу обумовлено тим, що в межах круглої апертурної діафрагми є зони, сигнали від яких знаходяться в протифазі. Ці зони мають вигляд кілець. Крім того, зменшення якості доплерівського сигналу визивається також зменшенням ступеня фазового узгодження «елементарних» доплерівських сигналів при прийомі розсіяного випромінювання в межах кілець, що знаходяться в фазі.

Таким чином, підвищити глибину модуляції та відношення сигнал завада сигналу диференціального ЛДА можна за рахунок застосування фільтра. Такий фільтр пропускає на фотоприймач розсіяне випромінювання, що забезпечує формування синфазних сигналів. Форма фільтра має вигляд концентричних кілець. Доплерівські сигнали, що утворюються при прийомі розсіяного випромінювання в межах цих кілець знаходяться в фазі.

Результати даної роботи можуть бути застосовані для вдосконалення ЛДА [2].

Література

1. Землянський В.М. Измерение скорости потоков лазерным доплеровским методом: монография. – К. Вища школа, 1987. – 177 с.
2. Чудесов О.П., Дивнич В.М. Лазерні доплерівські вимірювачі компонент вектора швидкості / Збірник тез доповідей XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Приладобудування: стан і перспективи», м. Київ, ПБФ, НТУУ «КПІ». – 2014 с. 67-68.
Ключові слова: лазер, доплерівський, анемометр, розсіяння, апертура, фільтр.

УДК 535 (075.8)

ЗМІНА СПЕКТРАЛЬНОГО СКЛАДУ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

¹⁾Коваль С.Т., ²⁾Слободяник А. Д.

¹⁾Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина, ²⁾Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

Існує багато ситуацій, коли оптичне випромінювання зі спектром, наприклад, в видимій області необхідно перетворити в випромінювання в

іншому діапазоні довжин хвиль, тобто виконати частотний зсув спектру. Подібні задачі існують в радіотехніці і телебаченні, де спектр вхідного сигналу транспонується в сусідні діапазони частот за допомогою модуляторів або демодуляторів, які виготовляються з використанням дискретних електронних компонентів. На відміну від відомих принципів в електроніці ефективна зміна спектрального складу оптичного випромінювання з переносом його в інший спектральний діапазон електромагнітних хвиль, - від гама до радіо, потребує інших підходів, які переважно базуються на квантово-механічних явищах і законах взаємодії випромінювання з речовиною. Плавна або дискретна зміна частоти світла в активних середовищах здійснюється, як відомо, за допомогою генерації оптичних гармонік, вимушеного розсіювання Рамана або розсіювання Комптона, фазової самомодуляції та інших нелінійних ефектів, практична цінність яких різна.

В роботі досліджуються спектроенергетичні перетворювачі оптичного і близького до нього діапазонів та оцінюється ефективність їх роботи. Запропонована теоретична модель спектрогенераторів, котрі працюють в умовах самозбудження самої системи, побудована з використанням фундаментального рівняння Шредінгера. Аналіз отриманих результатів дозволяє вказати на можливі корисні застосування перетворювачів.

Як приклад розглядається технічна пропозиція створення системи екологічно чистого джерела енергії. Система складається з приймального вузла, в якості якого виступає дзеркальний концентратор космічних променів і кристал – спектроенергетичний перетворювач випромінювання, де спостерігається ефект Комптона. Перспективним вважається також застосування багатошарових поєднань з тонких плівок нітриду галія **GaN** та похідних сполук InGaN і AlGaN, в яких концентроване космічне випромінювання може призводити до люмінесценції. За таких умов можна отримати досить потужне випромінювання як стоксового, так і антистоксового типу, використовуючи на вході системи лише космічне випромінювання, яке існує незалежно від зовнішніх умов.

Ключові слова: спектральні перетворювачі, оптичні випромінювачі.

УДК 654:679.76

ТЕСТУВАННЯ СВІТЛОВОДІВ ЕЛЕМЕНТАМИ ІНТЕГРАЛЬНОЇ ОПТИКИ

Кучеренко О.К., Кучеренко В.О.

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

Світловоди є основними елементами сучасних волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ). Дальність дії ВОЛЗ без ретрансляторів залежить від таких параметрів світловодів як затухання і часове спотворення оптичного сигналу. Значення

затухання кварцових світловодів складає на довжині хвилі $\lambda=1383\text{нм.}$ – 0,34 Дб/км., а на довжині хвилі $\lambda=1550\text{нм.}$ – 0,22 Дб/км. Це значення визначається втратами на розсіювання і поглинання у матеріалі світловода і залежить від кількості домішок. Коефіцієнт хроматичної дисперсії для одномодового світловода залежить від його марки і складає на довжині хвилі $\lambda=1550\text{нм}$ для волокна SMF –18 пс/нм.км, а для волокна LEAF–2,0 ÷6,0 пс/нм.км.

Вимоги до вказаних параметрів ще більше зростають при використанні сучасних ВОЛЗ на основі мультиплексування з розділом по довжинах хвиль МРДХ (WDM) і щільним розділом по довжинах хвиль ЩМРДХ (DWDM). Такі системи дозволяють збільшувати об’єми і швидкість передачі інформації, яка може складати 2,5 Гбіт/с і більше. В свою чергу зростають вимоги до устаткування, що призначене для тестування сучасних світловодів.

Основні методи, що використовуються для визначення затухання наступні: обриву; внесених втрат; зворотнього розсіювання. Часові спотворення оптичних імпульсів світловодом визначаються імпульсним методом, або фазовим методом. В доповіді розглянуті особливості використання кожного методу. Кожен з названих методів передбачає використання напівпровідникових лазерних випромінювачів півширина лінії випромінювання яких повинна складати менше 100кГц. При дослідженнях світловодів для систем WDM і DWDM різниця довжин хвиль сусідніх спектральних каналів випромінювача повинна складати 0,2-0,8нм. Цим вимогам найбільш повно відповідають напівпровідникові лазери з зовнішнім резонатором Фабрі-Перо, волоконно- брегівськими ґратками на одномодових світловодах або інтегральні одномодові лазери з розподіленим зворотнім зв’язком (РЗЗ), в англоязычній літературі – DFB, Distributed Feed Back та розподіленим брегівським відбиванням(РВВ), в англоязычній літературі –DBR, Distributed Bragg Reflector. У сукупності з іншими елементами інтегральних оптичних схем (ІОС) такими як полосковий і планарний світловоди, геодезичні лінзи, мультиплексори і демультіплексори на базі інтерферометра Маха–Цендера, полосковим ешеленом Майкельсона авторами запропоновано створити спектроаналізатор для визначення втрат випромінювання у світловодах, що використовуються в сучасних ВОЛЗ. В доповіді розглядаються питання побудови та визначення характеристик окремих елементів і принципи поєднання їх в загальну інтегральну схему для тестування світловодів.

Інтегральне виконання вирішує питання узгодження окремих елементів, дозволяє зменшити втрати випромінювання при їх поєднанні. Тим не менше на сучасному етапі розвитку технології виготовлення оптичних інтегральних схем третього рівня інтеграції створення таких пристроїв для тестування світловодів залишається питанням теоретичним і для практичного впровадження потребує розв’язку низки питань на яких ставиться акцент в матеріалах доповіді.

Ключові слова: тестування світловодів, мультиплексування з розділом по довжинах хвиль, інтегральні оптичні схеми.

УДК 654:679.76

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПОХИБОК КОНЕКТОРІВ НА ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ ЗАТУХАННЯ У СВІТЛОВОДАХ

Кучеренко О.К.

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

Одним з перспективних напрямків розвитку інформаційних систем є перехід від радіодіапазону до оптичного діапазону довжин хвиль. В оптичному діапазоні частотна смуга, що використовується для передачі інформації у 10^5 разів більша ніж у радіодіапазоні. Крім того, волоконно-оптичні інформаційні канали характеризуються такими позитивними якостями як термостабільність, завадостійкість, вибухобезпечність та ін. У зв'язку з цим актуальними є питання, пов'язані з дослідженнями елементної бази волоконно-оптичних інформаційних систем (ВОІС). В таких системах найбільш важливими параметрами є затухання і швидкодія.

Контроль затухання здійснюється з використанням наступних методів:

- двучкового: метод обламування, безобламувальний методи;
- метод заміщення;
- метод зворотнього релеївського розсіювання в часовій області.

Будь який з цих методів передбачає використання для приєднання світловодів до фотоприймача оптичних роз'ємів–конекторів. Очікуване затухання сучасних світловодів складає 0,2 Дб/км. Втрати потужності випромінювання, які може вносити конектор в результат вимірювання повинні бути принайні на порядок меншими цієї величини. В свою чергу конектори при приєднанні до світловодів можуть бути охарактеризовані низкою похибок:

- децентрування: поперечне і кутове;
- подовжній зсув;
- невідповідність числових апертур світловода і конектора.

Вказані похибки можуть вносити суттєвий негативний внесок в результат вимірювання поглинання у світловодах. Залежність втрат в конекторах від вказаних похибок може бути визначена. Наприклад, втрати в конекторі від поперечного децентрування і подовжнього зсуву для одномодових світловодів дорівнюють:

$$\Pi_1 = -10 \lg \left[e^{-\frac{\delta^2}{d_{\text{эф}}^2}} \right] \text{ Дб,}$$

де δ - поперечний зсув світловодів; $d_{\text{эф}}$ – ефективний діаметр осердя світловода.

$$\Pi_2 = -10 \lg \left[1 - z \frac{\text{tgNA}}{2d_{\text{эф}}} \right] \text{ Дб,}$$

де z – подовжня відстань між торцями світловода і конектора; NA – числова

апертура світловода.

Дослідження впливу похибок стикування світловодів з конекторами дозволили сформулювати вимоги до точності виготовлення конекторів для одномодових і багатомодових світловодів з різними конструктивними параметрами. Якщо прийняти, наприклад, для одномодового світловода $d_{\text{эф}}=6\text{мкм}$. Числова апертура $NA=0,1$, втрати при приєднанні конектора до світловода на рівні $0,02\text{Дб}$, то отримаємо:

- допустиме поперечне децентрування має складати $0,5\text{мкм}$, а кутове децентрування 5кут. хв. ;
- допустимий подовжній зсув повинен бути меншим 1мкм. ;
- невідповідність числових апертур повинна бути меншою 2кут. хв. .

В доповіді приводяться також вимоги до точності приєднання світловодів до конекторів для інших, застосованих на практиці, конструктивних параметрів одномодових і багатомодових світловодів.

Ключові слова: затухання у світловодах, похибки конекторів, дослідження похибок, допустимі значення похибок приєднання конекторів до світловодів.

УДК 681.7:681.785.47; 535.241.6:535.36

МЕТОД РОЗРАХУНКУ НЕРІВНОМІРНОСТІ ОСВІТЛЕНОСТІ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ФОТОМЕТРИЧНОЇ КУЛІ

Камінський С.Ф.

*Казенне підприємство спеціального приладобудування «Арсенал», м. Київ, Україна
serhii_kaminskyi@ukr.net*

Стандартний метод визначення коефіцієнта розсіювання (КР) знімальних об'єктивів [1] базується на порівнянні освітленостей, створених цим об'єктивом, в зображенні чорного предмета на широкому рівномірно освітленому білому фоні, в якості якого використовується внутрішня поверхня фотометричної кулі (ВПФК), і в зображенні цього фону. Похибка визначення КР $\pm 10\%$. Проте стандарт [1] не дає рекомендацій відносно способів забезпечення 100% рівномірності освітленості білого фону і не дозволяє деяку її нерівномірність, при якій ще буде забезпечена вказана похибка визначення КР. Новий метод визначення КР [2, 3] теж вимагає рівномірності освітленості ВПФК, причому вихідний отвір ФК може бути в 5 разів більшим, ніж дозволяє стандарт [1]. Може використовуватись навіть півкуля за умови забезпечення допустимого значення нерівномірності освітленості її внутрішньої поверхні.

На основі теорії ФК [4, 5] автором розроблено метод розрахунку для оцінки вказаної нерівномірності ще до виготовлення ФК (півкулі). Він базується на розрахунках нерівномірності початкової освітленості ВПФК (півкулі) та коефіцієнта її ослаблення, який враховує основні параметри як ФК (півкулі), так і джерела світла (ДС), їх взаємне положення, кількість ДС та їх розміщення.

В доповіді розглядається виведення формули розрахунку та виконується її аналіз з метою визначення значень величин, що в неї входять, та значень їх співвідношень, при яких можна одержати якомога менші значення нерівномірності освітленості ВПФК. Аналізується вплив на вказану нерівномірність „сторонніх” предметів усередині кулі (заслінок і т. д.) та пропонуються методи його зменшення.

Література

1. ГОСТ 24724-81. Объективы для кино- и фотоаппаратов. Метод определения коэффициента рассеяния.
2. Камінський С.Ф., Лихоліт М.І., Тягур В.М. Новий метод визначення коефіцієнта розсіювання об’єктивів // Український метрологічний журнал. - 2013. - № 3. – с. 27-32.
3. Камінський С.Ф., Лихоліт М.І., Тягур В.М. Установка для вимірювання коефіцієнта розсіювання об’єктивів у відповідності до нового методу його визначення // Український метрологічний журнал. - 2014. - № 1. – с. 26-34.
4. Тиходеев П.М. Световые измерения в светотехнике (фотометрия). – М.: Государственное энергетическое издательство, 1962. – 464 с.
5. Гуревич М.М. Введение в фотометрию. – Л.: Энергия, Ленингр. отд., 1968. – 244 с.

Ключові слова: фотометрична куля, півкуля, внутрішня поверхня, нерівномірність освітленості, метод розрахунку, формула розрахунку.

УДК 681.7:681.785.47; 535.241.6:535.36

НЕРІВНОМІРНІСТЬ ОСВІТЛЕНОСТІ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ФОТОМЕТРИЧНОЇ КУЛІ З ДЖЕРЕЛАМИ СВІТЛА В ЇЇ ЦЕНТРІ

Камінський С.Ф.

*Казенне підприємство спеціального приладобудування «Арсенал», м. Київ, Україна
serhii_kaminskyi@ukr.net*

За викладеним в попередній доповіді методом розрахунку розраховано нерівномірність освітленості внутрішньої поверхні фотометричної кулі ΔE для низки варіантів конструкції фотометричної кулі з джерелами світла (ДС) в її центрі, в яких різні: діаметри вихідного отвору ($D_{\text{отв}}$), типи ДС і їх кількість n . Результати розрахунків для рівномірних (ізотропних) ДС наведено в табл.1.

Таблиця 1

$D_{\text{отв}}, \text{ м}$	0,4	0,8	1,2	1,6	1,85	1,9	1,95	1,99	2,0
$ \Delta E , \%$	1,5	3,0	5,7	10	14	15,5	17	19	21

Отже, $|\Delta E| \leq 10\%$ при $D_{\text{отв}} \leq 1,6$ м. При цьому зміна n не змінює значень $|\Delta E|$. Тому виконано розрахунки для ламп розжарення з еліптичним дзеркальним відбивачем, що мають вузьку (38° на рівні 0,5) діаграму направленості (ДН). Результати розрахунків наведено в табл.2.

Таким чином, при $n \geq 16$ значення $|\Delta E|$ в табл.2 менші ніж в табл.1. Притім $|\Delta E| \leq 8\%$ при $n=16$ і $D_{\text{отв}} < 1,6$ м, при $n=24$ і $D_{\text{отв}} \leq 1,85$ м та при $n=36$ і $D_{\text{отв}} \leq 1,99$ м (майже півкуля).

Таблиця 2

$D_{отв}, м$		0,4	0,8	1,2	1,6	1,85	1,9	1,95	1,99	2,0
$n,$ шт.	1	16	28	43	59	68	70	72	75	77
	2	8,9	16	28	42	51	54	57	60	62
	4	4,6	8,9	16	26	34	37	40	43	45
	8	2,4	4,6	8,7	15	21	23	25	27	29
	16	1,2	2,4	4,6	8,2	12	13	14	16	17
	24	0,81	1,6	3,1	5,6	8,0	8,9	9,8	11	12
	36	0,54	1,1	2,1	3,8	5,5	6,1	6,7	7,7	8,4

Далі виконано розрахунок для ламп з шириною ДН в 2 рази більшою. Таких ламп має бути в 4 рази менше. Розраховані для $n=4, 6, 9$ значення $|\Delta E|$ рівні тим, які наведено в трьох останніх рядках табл.2. Отже, краще використовувати ДС з вузькою ДН ($\leq 76^\circ$ на рівні 0,5) при n не менше певного значення, яке залежить від ширини ДН (чим вужча ДН, тим більше n), ніж рівномірні (ізотропні) ДС за будь якого можливого n .

Наведено множину графіків залежності $|\Delta E|$ від $D_{отв}$, та n , графіки якої містять значення $|\Delta E|$ з табл.1-2 та наочно свідчать про перевагу ДС з вузькою ДН. Отже, конструкція фотометричної кулі з ДС в її центрі, що мають вузьку ДН краща за її конструкцію з рівномірними (ізотропними) ДС.

Ключові слова: фотометрична куля, півкуля, внутрішня поверхня, нерівномірність освітленості, джерело світла, діаграма направленості.

УДК 681.7:681.785.47; 535.241.6:535.36

НЕРІВНОМІРНІСТЬ ОСВІТЛЕНОСТІ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ФОТОМЕТРИЧНОЇ КУЛІ З ДЖЕРЕЛАМИ СВІТЛА БІЛЯ ЇЇ ВИХІДНОГО ОТВОРУ

Камінський С.Ф.

*Казенне підприємство спеціального приладобудування «Арсенал», м. Київ, Україна
serhii_kaminskyi@ukr.net*

За тим же методом, що в попередній доповіді, розраховано нерівномірність освітленості внутрішньої поверхні фотометричної кулі (ФК) ΔE для низки варіантів конструкції ФК з джерелами світла (ДС) біля її вихідного отвору (ВО), в яких різні: діаметри ВО ($D_{отв}$), типи ДС і їх кількість n . Розрахунки виконувались в програмному середовищі Mathcad. Масиви вхідних даних розрахунків спочатку визначались в програмному середовищі Solid Works на тривимірній моделі ФК. Потім була розроблена програма SpherePro на мові програмування C#, що визначає масив вхідних даних, який при $n=1,2,4,8,16$ має розмір від 90 до 960 елементів. Спочатку виконано розрахунки для рівномірних (ізотропних) ДС, результати яких наведено в табл.1.

Таблиця 1

$D_{\text{отв}}, \text{м}$		0,4	0,8	1,6	2,0	
n , шт.	1	$ \Delta E $, %	3,3	6,4	20	37
	2		1,7	3,3	11	23
	4		1,2	1,9	5,9	16
	8		1,1	1,8	2,9	8,7
	16		1,1	1,8	1,5	5,0

Отже, для $D_{\text{отв}}=2,0$ м (для півкулі) при $n=8$ $|\Delta E|=8,7$ %, а при $n=16$ $|\Delta E|=5$ %.

Наведено множину графіків залежності $|\Delta E|$ від $D_{\text{отв}}$, та n , графіки n якої містять значення $|\Delta E|$ з табл.1, та графік $\kappa=2$ з попередньої доповіді. Наочне порівняння їх свідчить про перевагу розміщення ДС біля вихідного отвору ФК.

Таким чином, конструкція ФК з рівномірними (ізотропними) ДС навколо її ВО краща за конструкцію ФК з такими ДС в її центрі. Проте конструкція ФК, що має ДС з вузькою діаграмою направленості (ДН) навколо її ВО, може бути ще кращою. Тому виконано розрахунок для $n=4$, $D_{\text{отв}}=1,99$ м і ламп розжарення з еліптичним дзеркальним відбивачем, що мають вузьку (40° на рівні 0,5) ДН. В результаті одержано $|\Delta E|=6$ %, що підтверджує припущення про кращу конструкцію ФК, тому що в табл.1 при $n=4$ $|\Delta E|\leq 6$ % тільки за $D_{\text{отв}}\leq 1,6$ м, а при $D_{\text{отв}}=2$ м $|\Delta E|=16$ %. За умови, що пропорція між значеннями $|\Delta E|$ з табл.1 при $D_{\text{отв}}=2$ м та $n=4$ і $n=16$ буде збережена також для ДС з вузькою ДН, можливе одержання при $n=16$ $|\Delta E|\approx 6 \cdot 5/16=1,9$ %.

Показано, що результати розрахунків узгоджуються з результатами фактичних вимірювань.

Ключові слова: фотометрична куля, півкуля, внутрішня поверхня, нерівномірність освітленості, джерело світла, діаграма направленості.

УДК 535.317

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА КАЧЕСТВО ИЗОБРАЖЕНИЯ ИНФРАКРАСНЫХ ДИОПТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТИВОВ

Муравьев А.В.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
г.Киев, Украина
stals98@ukr.net*

Оптические и оптико-электронные приборы, работающие в инфракрасном (ИК) диапазоне спектра, могут эксплуатироваться в различных условиях окружающей среды. Для наземных ИК систем рабочий температурный диапазон согласно эксплуатационным требованиям находится в пределах от -50 до 60°C . Однако диапазон изменения температуры для приборов, работающих в космосе, может составлять несколько сотен градусов. В последнее время все более широкое распространение получают системы дистанционного

зондирования Земли (ДЗЗ), снимки с которых используются для решения широкого спектра задач, таких как экологический и сельскохозяйственный мониторинг, анализ климатических изменений, поиск полезных ископаемых и картографирование. ИК объективы, входящие в состав приборов ДЗЗ, как правило, расположены за пределами термостабилизированного корпуса космического аппарата. Здесь наблюдается значительный перепад температур, отсутствие атмосферного давления, изменение показателя преломления окружающей среды. Изменение этих эксплуатационных факторов приводит к изменению конструктивных параметров оптической системы, а именно радиусов кривизны оптических поверхностей, осевых расстояний и диаметров оптических компонентов. Это, в свою очередь, приводит к изменению заднего фокального отрезка фокусирующей системы и, как следствие, увеличению уровня аберраций, изменению размера кружка рассеяния в фокальной плоскости и ухудшению качества изображения системы в целом. Кроме того, происходит деформация оправ оптических компонентов, а также деталей несущей конструкции.

Целью данного исследования является анализ влияния эксплуатационных факторов на изменение качества изображения типичных диоптрических ИК объективов разных конструкций, которые применяются в оптических приборах космического и наземного базирования при наличии сложных условий окружающей среды. Для анализа работы оптических систем в отмеченных условиях использовались программы Zemax и SolidWorks, что позволило оценить влияние данных факторов на пространственно-частотные и энергетические характеристики ИК объективов, подтвердить существенность влияния температуры на качество их изображения и установить основные факторы, приводящие к ухудшению качества изображения ИК фокусирующих узлов под действием изменения температурных полей.

Ключевые слова: инфракрасный объектив, условия эксплуатации, качество изображения.

УДК 535.8

ИЗМЕРЕНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ ФОРМЫ ОБЪЕКТОВ ТЕНЕВЫМ МЕТОДОМ В ЦИФРОВОМ ОПТИЧЕСКОМ МИКРОСКОПЕ

Фесенко А.В., Боровицкий В.Н.

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

Рассматривается математический аппарат, который описывает процесс измерения трехмерной формы объектов в оптическом микроскопе теневым методом. Особенность этого теневого метода заключается в том, что перед исследуемым объектом устанавливается экран, имеющий прямую, острую и ровную кромку.

Тень этого экрана, освещаемого квазипараллельным пучком лучей, создает на объекте профиль его поверхности (Рис.1, 2). Сдвигая объект относительно экрана, можно получить набор профилей. Выполнив цифровую обработку изображений полученных профилей, можно получить трехмерную карту поверхности.

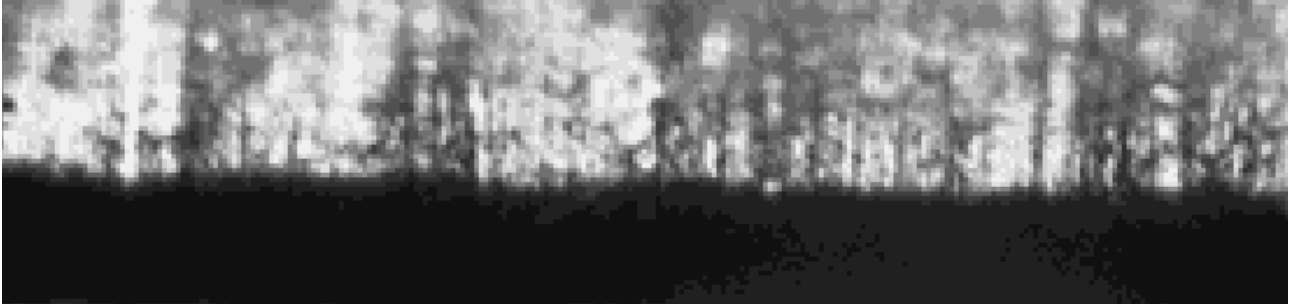


Рис. 1 - Изображение профиля поверхности объекта.



Рис. 2 - Профиль поверхности объекта после цифровой обработки.

Предложенный математический аппарат позволяет описать прохождение сигналов через оптико-электронный тракт такого микроскопа, который включает осветитель, экран, поверхность образца, оптическую систему, цифровую камеру, блок цифровой обработки и блок восстановления сигналов. Также представлены результаты экспериментальных исследований, которые подтверждают достоверность предложенной математической модели.

Ключевые слова: метод теневого сечения, измерение, трехмерная форма поверхности, математическая модель.

УДК 535.422

ФІЗИЧНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ RMS ЗОБРАЖЕННЯ ТОЧКИ, СФОРМОВАНОГО АБЕРАЦІЙНОЮ ОПТИЧНОЮ СИСТЕМОЮ

Чиж І. Г., Голембовський О.О.

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

У сучасній офтальмології актуальною є задача об'єктивного визначення величини псевдоакомодації ока, що втратило функцію акомодації (пресбіопічне або артіфакічне око) через вимірювання довжини його фокусної області. Вирішення такої задачі потребує розробку нових об'єктивних методів та

створення апаратних засобів вимірювання, які б були вільними від недоліків відомих суб'єктивних методів.

Нами запропоновано об'єктивний метод оцінки обсягу псевдоакомодації, що полягає у визначенні довжини фокусної області оптичної системи ока, через відтворення залежності від величини дефокусування ретинального зображення функції RMS (Root Mean Square) «повітряного» зображення світлової мікроплями на сітківці ока. Показано, що реєстрація та обробка сформованого оптичною системою ока «повітряного» зображення світлової мікроплями на сітківці при зміні оптичної сили варіюючої лінзи, яка апаратним засобом є оптично спряженою з кристаліком ока, дає можливість відтворювати діоптрійну довжину вказаної області і тим самим об'єктивно визначати обсяг псевдоакомодації.

Розроблено математичний апарат, що дозволяє відтворювати розподіл освітленості в зображенні точки в площині сітківки з урахуванням хвильової аберації оптичної системи та розбіжності випромінювання лазера.

Показано як за результатами знайденого розподілу освітленості в зображенні точкового джерела у площині сітківки визначається реальне об'єктивне значення RMS і розраховується величина обсягу псевдоакомодації та довжини фокусної області ока. Дослідженнями підтверджено принципову можливість реалізації запропонованого методу, та здійснено оцінку його потенційної точності.

Метод апробовано на фізичній моделі ока, яка адекватно відтворює пресбіопічне та артіфакічне око.

Ключові слова: об'єктивне вимірювання обсягу псевдоакомодації ока, фокусна область ока.

УДК 621.384.3

ПОГРЕШНОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РАЗРЕШЕНИЯ МЕДИЦИНСКОГО ТЕПЛОВИЗОРА

^{1), 2)} *Ахмед Малик Лазим Аль-Мзирави, ²⁾ Колобродов В.Г.*

¹⁾ *Басра Університет, м. Басра, Ірак; ²⁾ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Медицинская термодиагностика является одним из способов диагностики в медицине. Одной из основных характеристик медицинского тепловизора является погрешность измерения температуры в области заболевания пациента. В тепловизоре предусмотрена калибровка температурных измерений для случая, когда ИК изображение строится в фокальной плоскости объектива. Иными словами, тепловизор калибруется для измерений, когда пациент находится на относительно большом расстоянии от тепловизора. Для получения термограммы небольших участков тела пациента, тепловизор приближают к пациенту, а изображение с большим увеличением формируется за фокальной плоскостью объектива. При этом возникают дополнительные погрешности измерения температуры, исследование которых отсутствует в научно-технической литературе.

Представлен новый метод расчета погрешностей измерения температуры в области заболевания в зависимости от расстояния между пациентом и тепловизором. В качестве примера применения предложенного метода была рассчитана абсолютная и относительная погрешности измерения температуры тепловизором NEC TN9100, который выпускается фирмой NEC Avio (Япония – США) специально для применения в медицине.

Исследования предложенного метода расчета погрешности температурного разрешения тепловизора в зависимости от расстояния между пациентом и тепловизором позволил сделать следующие выводы:

– При проведении термографической диагностики необходимо учитывать погрешности температурного разрешения, а значит и измерения температуры, которые зависят от линейного увеличения объектива тепловизора.

– При проведении медицинской термодиагностики диапазон изменения увеличения объектива, зависит от размеров области термографирования, размеров микроболометрической матрицы и фокусного расстояния объектива.

– Погрешности температурного разрешения, для рассмотренного в примере тепловизора, можно не учитывать, если пациент находится на расстоянии более 1 м от тепловизора.

– В диапазоне расстояний между тепловизором и пациентом от 1 м до 50 см относительная погрешность температурного разрешения изменяется в пределах от 9% до 18 %.

– На расстояниях менее 50 см не рекомендуется проводить температурные измерения. Для получения термограмм малых патогенных зон целесообразно использовать специальные ИК объективы.

Ключевые слова: медицинский тепловизор, погрешности измерения температуры, термография.

УДК 621.384.3

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПОЗИЦИЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМБИНИРОВАННОГО СПОСОБА РЕГИСТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Пивторак Д.А.

*Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”, г. Киев, Украина
p_diana@i.ua*

Для снижения информационных потерь при фотографической регистрации изображений в фотоаппаратах широко используются экспонометрические устройства, отрабатывающие расчётное значение экспозиционных параметров в зависимости от величины яркости части кадра, представляющей потенциальный интерес. В случае несоответствия динамических диапазонов фоторегистратора динамическому диапазону оптического сигнала,

определяемому интервалом яркости объекта фотографирования, в фотоаппаратах может использоваться мультипликативный, аддитивный или смешанный способ регистрации изображений, предусматривающие обработку входного оптического сигнала с целью подавления низкочастотных составляющих его пространственно-частотного спектра, не несущих, как правило, полезную информацию. Каждый способ регистрации изображений с большим интервалом яркости обладает достоинствами и недостатками, определяющими область его применения. При фотографировании с подвижных носителей наибольшей эффективностью обладает комбинированный способ регистрации изображений, включающий в себя элементы как мультипликативного, так и аддитивного способов.

Получена экспонетрическая зависимость, которая может быть положена в основу работы экспонетрической системы фотоаппарата, использующего комбинированный способ регистрации изображений. Показано, что корректная работа экспонетрической системы требует измерение закона распределения яркости объекта фотографирования с вычислением его интегральной яркости и диапазона яркости в пределах кадра. На основании определения закона распределения яркости рассчитываются оптимальные значения эквивалентной яркости источника дополнительного экспонирования и коэффициента контрастности изображения пространственно-частотной фильтр-маски, после чего вычисляется экспозиционное число, используемое для отработки диафрагменного числа объектива фотоаппарата, эффективной выдержки затвора и выбора значения светочувствительности фотографического сенсора. Рассмотрены основные программы выбора сочетаний экспозиционных параметров для регистрации различных фотографических сцен.

Ключевые слова: информационные потери, интегральная яркость.

УДК 681.784

ВИЗНАЧЕННЯ ДОПУСТИМОЇ ВІДСТАНИ МІЖ ЦЕНТРУВАЛЬНИМИ МАРКАМИ ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ АСИМЕТРІЇ ОКА ВІДНОСНО ВІЗУАЛЬНОЇ ОСІ

Чиж І.Г., Афончина Н.Б.

*Национальный технический университет Украины «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ, Україна*

У попередніх публікаціях авторами був запропонований метод та прилад, що дозволяють виявляти та кількісно оцінювати вплив асиметрії оптичних елементів ОС (оптичної системи) ока на просторове положення відносно візуальної осі у площині зіниці ока осі симетрії роگیвки та центру отвору зіниці. Пристрій складається з двох різновіддалених відносно ока пацієнта центрувальних марок M_2 та M_1 . Система інфрачервоних світлодіодів у вигляді двох концентричних кілець розташована перед оком симетрично відносно

оптичної осі пристрою. Пацієнт переміщує пристрій відносно ока до положення, при якому центрувальні марки він бачить центрованими. При цьому візуальна вісь ока та оптична вісь приладу є суміщеними. В момент суміщення вказаних осей здійснюється відеозапис зображення ока та рефлексних від рогівки зображень системи світлодіодів. Отримані відеокадри за допомогою спеціальної комп'ютерної програми дозволяють визначити розташування осі симетрії рогівки та центру отвору зіниці відносно візуальної осі. Якщо у площині зіниці візуальна вісь, вісь симетрії передньої поверхні рогівки та точка центру симетрії зіниці є суміщеними, то це свідчить про наявність симетрії оптичної системи ока відносно візуальної осі. В протилежному випадку ці точки розбігаються і тим більше, чим більшою є вказана асиметрія.

Метою даного дослідження був пошук тієї відстані між центрувальними марками M_2 та M_1 , яка забезпечує непомітне для ока кутове несуміщення візуальної осі ока та оптичної осі приладу $\varepsilon = 2.9 \cdot 10^{-4}$ [рад].

Встановлено, що мінімальна допустима відстань z між марками M_2 та M_1 , повинна мати величину:

$$z = (f'_{об})^2 [(a_R + b)^{-1} - (a_R - 5_{мм})^{-1}],$$

де $f'_{об}$ [мм] – задня фокусна відстань об'єктива ОС пристрою, a_R [мм] – відстань до подальшої точки ясного зору аметропічного ока [мм], b [мм] – відстань між зображеннями центрувальних марок M_2 та M_1 , $b_{[мм]} = \varepsilon(5_{мм} - a_R)(\varepsilon - \Delta a_R^{-1})^{-1}$, Δ – допустиме похибка визначення положення візуальної осі ока у площині зіниці.

Ключові слова: асиметрія оптичної системи ока, візуальна вісь ока, метод та прилад для виявлення асиметрії ока.

УДК 519.6

АВТОМАТИЗОВАНИЙ РОЗРАХУНОК ОПТИЧНИХ СИСТЕМ ОКУЛЯРІВ

Сокурєнко В.М., Сокурєнко О.М.

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

Розробка оптичних систем (ОС) багатолінзових окулярів, особливо ширококутних, ортоскопічних та з поліпшеною якістю зображення, на сьогодні залишається, на жаль, нетривіальною задачею. Складність розрахунку зумовлена загальною тенденцією збільшення польових аберацій з розширенням кутового поля зору ОС. В першу чергу, це стосується дисторсії, астигматизму похилих пучків та хроматизму збільшення.

В даній роботі представлено спосіб автоматизованого проектування таких окулярів, яких базується на використанні засобів глобальної оптимізації (ГО). Розроблена авторами доповіді комп'ютерна програма, в якій реалізовано

декілька сучасних алгоритмів ГО, дозволяє провести проектування практично довільної ОС в автоматизованому режимі.

Метою даної роботи є перевірка ефективності закладених в комп'ютерну програму алгоритмів ГО для параметричного синтезу ОС окулярів з високою якістю зображення, що мають збільшені значення поля зору та віддалення вихідної зіниці. Такий розрахунок здійснюється з урахуванням заданих користувачем граничних обмежень на конструктивні параметри, габаритні розміри, значення дисторсії та інших абераций.

Для проведення розрахунку ОС окулярів конструктору спочатку потрібно:

- визначитися з максимальною кількістю поверхонь та загальною конфігурацією компонентів (одиначні лінзи, дублети, триплети);
- задати довжини хвиль зі значеннями відносної спектральної ефективності;
- вказати максимальний кут поля зору;
- зазначити діаметр та віддалення вихідної зіниці;
- позначити параметри оптимізації, якими можуть бути радіуси кривизни та коефіцієнти асферичності оптичних поверхонь, осьові повітряні проміжки, товщини лінз та марки оптичного скла з обраного каталогу матеріалів;
- вибрати оціночну функцію (критерієм оптимізації переважно є мінімізація середньоквадратичного розміру світлової плями в площині зображень);
- вказати в оціночній функції додаткові граничні обмеження на конструктивні параметри та/або абераций.

Далі запускається алгоритм ГО, який здійснює «пошук» ОС фактично вже без участі конструктора.

В доповіді представлено результати проведених досліджень та наведено рекомендації, які можуть бути корисними для розробників ОС.

Ключові слова: оптична система, окуляр, автоматизований розрахунок, глобальна оптимізація, оціночна функція, аберация, дисторсія.

УДК 681.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОБОЛОМЕТРИЧЕСКИХ МАТРИЦ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ИК КАМЕР КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

¹⁾ Добровольская Е. В., ²⁾ Колобродов В.Г., ¹⁾ Лихолит Н. И., ¹⁾ Тягур В.М.

¹⁾ Казенное предприятие специального приборостроения «Арсенал»

²⁾ Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина
doekaterin@gmail.com

С каждым годом ИК снимки Земли из космоса становятся более востребованными. Неохлаждаемые микроболометрические матрицы в

настоящее время являются наиболее целесообразным вариантом приемника излучения для использования в ИК камерах космического базирования, благодаря их малым габаритам, небольшому весу и малому энергопотреблению.

При выборе приемника излучения ИК камеры были рассмотрены две микроболометрические матрицы. Размер пикселя первой матрицы составляет 17 мкм, эквивалентная шуму разность температур (ЭШРТ) как параметр приемника – 60...80 мК. Размер пикселя второй матрицы составляет 25 мкм, а ЭШРТ - 50 мК. Для оценки эффективности работы прибора исследовалась минимальная разрешаемая разность температур (МРРТ). МРРТ позволяет связать пространственное и энергетическое разрешение камеры и определить возможность распознавания объектов разного размера на поверхности Земли.

При математическом моделировании использовались различные значения отношения сигнал/шум в зависимости от требуемой вероятности обнаружения объектов. Оценивалась возможность повышения разрешения ИК съемки путем субпиксельной обработки при использовании исследуемых микроболометрических матриц.

Благодаря более высокой чувствительности матрица с размером пикселя 25 мкм более эффективна при регистрации объектов с низкими пространственными частотами в спектральном диапазоне $\Delta\lambda_1 = 8 - 13,5$ мкм. При этом для регистрации объектов с более высокими пространственными частотами лучшие результаты обеспечивает матрица с размером пикселя 17 мкм, в том числе и при худшем значении ЭШРТ.

При применении субпиксельной обработки использование матриц с размером пикселя 25 мкм и 17 мкм обеспечивает практически одинаковый уровень разрешения объектов с низкими и средними пространственными частотами. Для регистрации объектов малых размеров предпочтительней использовать матрицу с размером пикселя 17 мкм.

Влияние различных характеристик матриц также исследовалось в спектральных диапазонах: $\Delta\lambda_2 = 10,5 - 11,5$ мкм; $\Delta\lambda_3 = 11,5 - 12,5$ мкм; $\Delta\lambda_4 = 12,5 - 13,5$ мкм. В этом случае применение матрицы с размером пикселя 25 мкм позволяет регистрировать объекты с меньшим размером.

Спектральный диапазон $\Delta\lambda_1$ является более информативным, поскольку позволяет регистрировать объекты меньших размеров с меньшим температурным контрастом по сравнению со спектральными диапазонами $\Delta\lambda_2$, $\Delta\lambda_3$ и $\Delta\lambda_4$, а как было указано выше применение микроболометрической матрицы с размером пикселя 17 мкм в этом диапазоне является более предпочтительным.

Ключевые слова: ИК камера, минимальная разрешаемая разность температур, микроболометрическая матрица.

УДК 681.785.574

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗОБРАЖУВАЛЬНОГО ФУР’Є – СПЕКТРОМЕТРА СТАТИЧНОГО ТИПУ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

¹⁾ Поздняков Д.В., ²⁾ Колобродов В. Г., ¹⁾ Лихоліт М. І., ¹⁾ Тягур В.М.

¹⁾ Казенне підприємство спеціального приладобудування «Арсенал»

²⁾ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ, Україна
pozdniakovd@gmail.com

Зображувальний Фур’є – спектрометр (ЗФС) (англ. fourier transform imaging spectrometer) – пасивна спектральна скануюча оптико-електронна система космічного або авіаційного базування. Особливістю є те, що ЗФС реєструє не спектр підстиляючої поверхні, яку він зображує, а інтерференційну картину. Відновлення спектру здійснюється шляхом використання зворотного перетворення Фур’є до сигналу, який зареєстровано матричним приймачем випромінювання.

Роботу ЗФС запропоновано умовно розділити на 4 етапи:



Для дослідження роботи ЗФС статичного типу космічного базування та оптимізації його параметрів для перших двох етапів були створені дві математичні моделі.

Перша з них дозволяє математично описати процес формування зображення вхідною оптикою на приймачі випромінювання. За допомогою цієї моделі можна розрахувати такі параметри, як: фокусну відстань об’єктива, поле зору приладу, розмір проєкції пікселя на поверхні Землі та ширину стрічки захвату. Ці параметри можна розрахувати використовуючи розміри матриці та її пікселів і висоту польоту носія.

Друга модель дозволяє описати формування інтерференційної картини. Вона враховує розподіл яскравості на підстиляючій поверхні та зсув одного з дзеркал, який необхідний для створення несиметричності у інтерферометрі. Така модель дозволяє розрахувати інтерференційну картину на приймачі випромінювання, а також через розрахунок різниці ходу променів на приймачі визначити спектральний діапазон та спектральне розділення приладу в залежності від розміру пікселя приймача. За допомогою такої моделі можна розв’язати і обернену задачу: визначити необхідний зсув дзеркала для отримання потрібної оптичної різниці ходу променів на приймачі випромінювання.

Подальша робота буде спрямована на створення математичних моделей для двох останніх етапів роботи ЗФС: формування сигналу після приймача

випромінювання та обробка сигналу і відновлення спектру підстилаючої поверхні.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, зображувальний Фур'є – спектрометр статичного типу, математичне моделювання.

УДК 535.317

РАСЧЕТ КОМПЕНСАТОРОВ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИМИТАТОРА ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ЦЕЛИ

Артюхина Н.К., Лецинская А.В.

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: art49@mail.ru, anya.by@mail.ru

В оптических системах, предназначенных для имитации траектории движения точки, основными оптическими компонентами являются оптические клинья, которые, вращаясь вокруг своей оси в противоположных направлениях, обеспечивают движение точки по заданной траектории. Клиновые компенсаторы обычно состоят из пары клиньев, имеющих одинаковые преломляющие углы и вращающихся на равные углы в противоположных направлениях. Отклонение лучей пропорционально косинусу угла разворота клиньев от исходного положения.

В данной работе рассматривается оптическая система, представленная на рисунке 1, состоящая из коллиматора, для создания необходимой цели, зеркал для излома оптической оси и компенсаторов, конструкция которых состоит из двух клиньев с одинаковыми преломляющими углами.

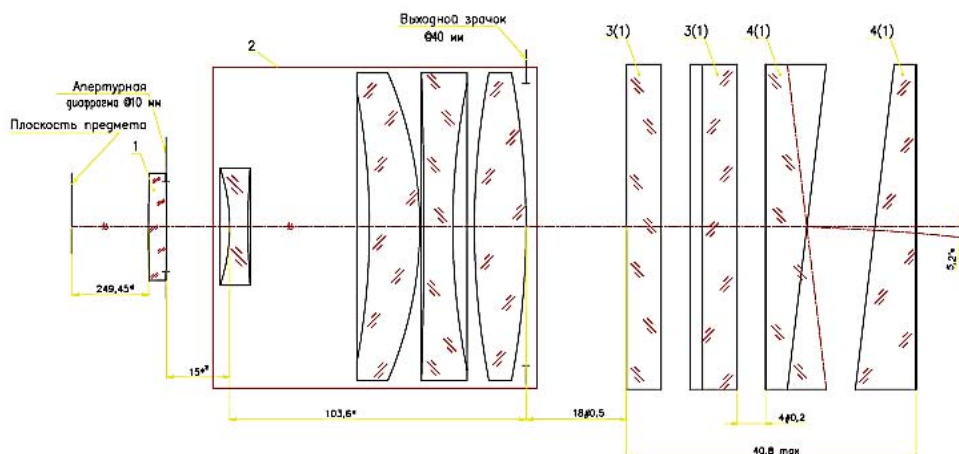


Рис. 1. Оптическая схема имитатора цели

При вращении клиньев 3(1) и 3(2) вокруг своей оси в противоположных направлениях, точка движется в плоскости матрицы в горизонтальном направлении. Аналогичная ситуация наблюдается при вращении клиньев 4(1) и 4(2), когда движение точки происходит в вертикальном направлении. Рабочий диапазон компенсатора (в пределах углов от 30° до 150°) соответствует линейному участку траектории движения.

В процессе исследования установлено, что после введения клиньев и их разворота на качество изображения точки на матрице испытуемого прибора достаточно высокое влияние начинает оказывать хроматическая аберрация. Проведен анализ хроматизма в зависимости от материалов клиньев (13 стандартных марок стекол: кроновых типа К8, БК13, ТК4 и флинтовых БФ4, ТБФ3, ЛФ10, ТФ2 и др.) с учетом угла клина и угла разворота клиньев в паре и выбраны наиболее экономичные материалы. Расчеты проведены по удвоенному пикселу для используемого типа матрицы. Представленная система для аппаратуры имитации траектории движения цели может быть использована в области военной техники.

Ключевые слова: имитатор цели, компенсатор, оптические клинья.

УДК 535.42

ІНТРАОКУЛЯРНА ЛІНЗА ІЗ ВИПРАВЛЕНОЮ ХРОМАТИЧНОЮ АБЕРАЦІЄЮ

Кучугура І.О., Колобродов В.Г.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ, Україна inna_kuchugura@ukr.net, thermo@ukr.net*

Створення інтраокулярних лінз (ІОЛ) є одним із найважливіших досягнень сучасної офтальмології. Найчастіше при проектуванні ІОЛ використовують дифракційно-рефракційні лінзи. Запропоновано удосконалити дифракційну частину лінзи шляхом нанесення багатопорядкової дифракційної лінзи (БПДЛ) замість традиційної дифракційної. У результаті дослідження виявлено, що при використанні БПДЛ частково компенсуються хроматичні аберації для певного набору довжин хвиль. Визначено, що така лінза створює зображення у формі відрізка на оптичній осі. Підбором розрахункового параметру p забезпечується наявність в кожній точці відрізка зображення трьох кольорових складових різної дифракційної ефективності (ДЕ), що у поєднанні створюють якісне кольорове зображення. Спроековано БПДЛ із фокусною відстанню $f=100$ мм, $p=6$, матеріал ПММА, розрахункова довжина хвилі $\lambda_0=0,525$ мкм. Світловий діаметр $D=7$ мм, кількість дифракційних зон 19, максимальна глибина канавки 6 мкм. Визначено, що розрахована лінза у видимому діапазоні для набору довжин хвиль різних дифракційних порядків N створює безабераційне зображення з ДЕ $\eta=100\%$: $\lambda_5=0,63$ мкм при $N=5$; $\lambda_6=0,525$ мкм при $N=6$; $\lambda_7=0,45$ мкм при $N=7$. Така лінза фокусує світло з іншими довжинами хвиль у відрізок довжиною 15 мм із ДЕ $\eta \geq 40\%$.

Ключові слова: інтраокулярна лінза, багатопорядкові дифракційні лінзи, дифракційна ефективність.