

СЕКЦІЯ 2
ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ.
ФОТОНІКА

UDC 519.6: 681.75

DEVELOPMENT OF ZOOM OPTICAL SYSTEM FOR RIFLESCOPE

¹⁾Sokurenko V. M. and ²⁾Sokurenko O. M.

¹⁾National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine; ²⁾Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

E-mail: sokurenko2@meta.ua

The development of zoom optical systems for riflescopes is considered a complex and multi-iteration procedure. It involves several stages, including first-order design, aberration synthesis of optical components, and optimization of a whole optical system.

The design of such optical systems with extreme functional parameters and the high image quality is complicated when using glass catalogs which contain widely-used glasses only as well as when the total number of lenses is limited in the system.

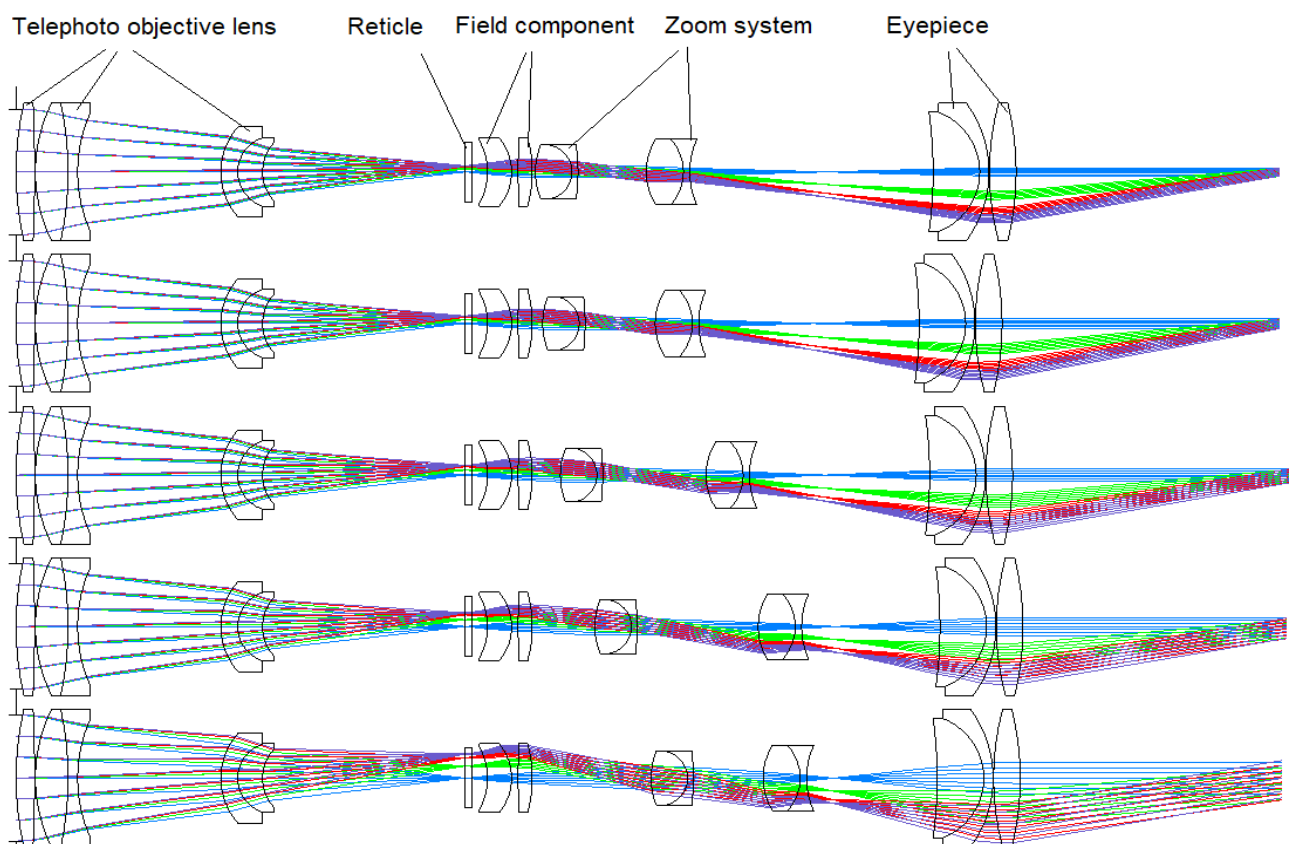


Fig. 1. Optical layout of the developed zoom rifle scope (five zoom configurations corresponding to magnifications 16×, 13×, 10×, 7×, and 4× are shown from top to bottom, respectively)

This work presents a technique for automated parametric synthesis of multi-lens zoom optical systems for riflescopes. The technique is based on applying one of modern global optimization algorithms. It was implemented in the computer program PODIL developed by the authors. The program enables to design multicomponent zoom optical systems in an automated mode. It takes into account user-defined boundary constraints on prescription parameters, overall dimensions, various aberrations, etc.

The optical schematic diagram of the designed zoom rifle scope is presented in Fig. 1. The rifle scope provides the magnification range 4-16 \times . It has the front focal plane (F1), the entrance pupil diameter 42 mm, the overall length 325 mm, and the eye relief within 85-90 mm. The field of view varies from 5.15 $^{\circ}$ to 1.32 $^{\circ}$. No beam vignetting occurs, even at lowest magnification.

The aberration analysis indicates that the designed zoom system delivers the high image quality. In five controlled zoom positions, the rms-values of output angular aberrations do not exceed 1 arc. minute in the whole spectral range (0.47-0.656 μm).

The report presents the results of the research and provides practical recommendations that may be useful for optical designers.

Keywords: zoom optical system, rifle scope, aberration, automated design, magnification.

УДК 623.4.051

КОНТРОЛЬ ПОЛОЖЕННЯ ЛІНІЇ ВІЗУВАННЯ ОПТИЧНИХ ПРИЦІЛІВ

¹⁾Микитенко В. І., ²⁾Мельник О. Д., ²⁾Сенаторов В. М.

¹⁾Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

²⁾Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки

Збройних Сил України, Київ, Україна

E-mail: v.mikitenko@nil-psf.kpi.ua, v.senatorov1945@i.ua

В доповіді розглядається спосіб контролю положення лінії візування оптичних прицілів на основі оптико-електронних комплексів, що використовують сучасну елементну базу: лазерне джерело випромінювання і цифровий фотоприймач.

Суть способу полягає у визначенні координат лінії візування прицілу, що контролюється, відносно лазерного променя або нормалі до дзеркала, однозначно зв'язаних з базовими елементами стрілецької зброї. Алгебраїчна різниця координат проєкцій лінії візування і осі лазерного променя або нормалі до дзеркала до і після чергового етапу динамічних випробувань (в процесі стрільби або випробувань на динамічному стенді) визначить величину відхилення лінії візування прицілу.

Оцінені три варіанти побудови оптико-електронних комплексів з точки зору їхньої точності при контролі стабільності положення лінії візування при динамічних випробуваннях.

В першому варіанті побудови комплекс містить колімаційно-вимірювальний блок та лазер, що однозначно базується на стволі зброї і визначає вісь каналу її ствола. Для підвищення точності наведення сітки прицілу на контрольну точку - за окуляром контрольованого прицілу встановлюється телевізійна камера.

В другому варіанті побудови комплексу лазерне джерело інтегроване у конструкцію приймального каналу, а замість лазера на зброї базується знімне дзеркало, нормаль якого визначає вісь каналу ствола зброї.

В третьому варіанті до складу комплексу входять відбиваючий елемент, виконаний у вигляді призми БС-0°. На вхідну грань призми нанесене напівпрозоре світловідбиваюче покриття, і призма споряджена пристроєм для однозначної орієнтації нормалі до її відбиваючої площини відносно осі каналу ствола зброї. Функцію цього пристрою виконує корпус призми, виготовлений з магнітного матеріалу з можливістю контакту зі зрізом ствола зброї.

Аналіз точності варіантів виконання оптико-електронних комплексів показує перевагу третього.

Ключові слова: контроль, лінія візування, оптико-електронний комплекс, оптичний приціл.

УДК 681.758

ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОГО КОГЕРЕНТНОГО СПЕКТРОАНАЛІЗАТОРА В ДОСЛІДЖЕННІ МЕТРОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

¹⁾Налбандова В. П., ²⁾Колобродов В. Г., ²⁾Балінський Є. Г.

¹⁾ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ», Київ, Україна

²⁾Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: vnalbandova@ukr.net, thermo@ukr.net

Дифракційна оптика дозволяє виконувати високоточні дослідження світлових сигналів, що базуються на перетвореннях вхідного просторового сигналу. На базі законів дифракційної оптики було створено прилади, що дозволяють проводити аналіз властивостей спектру світла. Такі пристрої використовуються в системах обробки інформації [1], рентгеноструктурному аналізі, дослідженні домішок в складі речовин, неруйнівному контролі [2].

Окрім цього, засади дифракційної оптики знайшли значне поширення в метрології у вигляді оптичних компараторів. В якості пристрою, що використовується для порівняння еталонного спектру з досліджуваним, можливе використання цифрового когерентного оптичного спектроаналізатора

(ЦКОС). Основними особливостями такого спектроаналізатора є використання когерентного джерела випромінювання (більша інформативність сигналу в порівнянні з некогерентним джерелом випромінювання) та аналіз зображення за допомогою програмного забезпечення (окрім оптичної обробки інформації використовується цифрова).

Еталонний спектр отримується шляхом пропускання через еталонну міру когерентного випромінювання, що перетворюється Фур'є-об'єктивом, зображення якого можна проаналізувати за допомогою програмного забезпечення персонального комп'ютера. Вихідний сигнал на виході оптичної системи з точністю до постійного множника співпадає з Фур'є-образом (просторовим спектром) вхідного сигналу. Таким чином, розподіл комплексних амплітуд світлових полів в задній та передній площинах Фур'є-об'єктива оптичної системи пов'язані між собою перетворенням Фур'є. Світлове поле в задній фокальній площині є просторовим амплітудно-фазовим спектром сигналу, розміщеного в передній фокальній площині Фур'є-об'єктива.

Отже, завдяки порівнянню двох дифракційних картин (відстаней між мінімумами/максимумами) можна передати одиницю довжини з певною розширеною невизначеністю.

Ключові слова: цифровий когерентний оптичний спектроаналізатор, еталон довжини, Фур'є-об'єктив.

Література

- [1] В. Г. Колобродов, Г. С. Тимчик, В. І. Микитенко, М. С. Колобродов, *Проектування цифрових когерентних оптичних спектроаналізаторів*. Київ, Україна: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Політехніка, 2019.
- [2] Pernick B. J., «Surface roughness measurements with an optical Fourier spectrum analyzer», *Applied optics*, V. 18, № 6, pp. 796-801, 1979.

УДК 612.843.363.2 535.2 621.383

ВІДНОСНА СПЕКТРАЛЬНА СВІТЛОВА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Кравченко І. В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: ooep@kpi.ua

Для більшості оптичних та оптико-електронних систем видимого діапазону проводяться перерахунки фотометричних величин в радіометричні та навпаки з урахуванням властивостей людського ока. Властивості людського ока «стандартного спостерігача» для денного та присмеркового зору визначені Міжнародною комісією по освітленості (International Commission on Illumination - CIE) та Міжнародним бюро мір і ваг (International Committee for Weights and Measures - CIPM) через усереднені «функції спектральної світлової ефективності» $V(\lambda)$, $V'(\lambda)$ (CIE standard spectral luminous efficiency functions for

photopic and scotopic vision). В літературі замість нормативної назви часто вживаються терміни «відносна спектральна ефективність світла» (relative spectral light efficiency), «спектральна ефективність ока людини» (relative spectral efficiency of eye), «відносна видність» (relative visibility), «крива видності» (eye sensitivity curve, luminance/luminosity function, luminosity/visibility curve).

Таблиця актуальних кількісних значень функції $V(\lambda)$ для діапазону (360 – 830) нм наведена в ДСТУ ISO 23539:2017 "Фотометрія. Система фізичної фотометрії згідно з CIE" та в ГОСТ 8332-2013 "Государственная система обеспечения единства измерений. СВЕТОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ. Значения относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения. Общие положения". Дані стандартів є ідентичними до даних ISO 23539:2005(E)/CIE S 010/E:2004 "Photometry - The CIE System of Physical Photometry".

Для аналітичного застосування використовуються наближення [1]:

$$V(\lambda) = e^{-\frac{(\lambda-b_1)^2}{b_2}} \quad \text{та} \quad V(\lambda) = a_1 \cdot \lambda^{-a_2} \cdot e^{-\frac{a_3}{\lambda}}.$$

Проведено оцінку похибки наближення. Середньоквадратична похибка виразів із первинними коефіцієнтами складає 0.0213 та 0.0199 відповідно.

Проведено коригування значень коефіцієнтів виразів за критерієм мінімізації середньоквадратичної похибки. Зниження похибки із скоригованими коефіцієнтами складає до 26%.

Ключові слова: формула функції спектральної світлової ефективності.

Література

- [1] Е. В. Зайцева, «Погрешности аппроксимаций усредненных кривых видности», *Доклады ТУСУРа*, № 1 (21), часть 2, июнь 2010, с. 68-73.

УДК 621.384.3

ПРОБЛЕМА ТЕПЛОВИХ ВІДБИТТІВ В ІНФРАЧЕРВОНОМУ ДІАПАЗОНІ

Сокол Б. В., Колобродов В. Г.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: sokolbohdan@ukr.net, thermo@ukr.net

Довгохвильові інфрачервоні (LWIR) приймачі випромінювання успішно використовуються в різноманітних сферах життєдіяльності, наприклад, в комплексах нічного бачення (виявлення та розпізнавання об'єктів), спостереженні за погодою та ін. Однак, системи спостереження LWIR часто мають труднощі з виявленням у місцях, де дзеркальні поверхні можуть відбивати світло у їх робочому діапазоні. Відбивання може легко спотворити форму реальних об'єктів, тому для покращення ефективності розпізнавання та

виявлення об'єктів необхідно мінімізувати відбивання випромінювання від таких поверхонь [1].

У роботі авторів M. Vollme та ін. [2] було описано, як відбувається відбиття у інфрачервоному (ІЧ) діапазоні від латунної пластини з великою шорсткістю. У видимій області спектра прямого відбиття не спостерігається, проте при дослідженні за допомогою ІЧ камери в діапазоні довжин хвиль 8-14 мкм спостерігається відбивання від пластини. Пластина є поганим дзеркалом у видимому, але хорошим дзеркалом в інфрачервоному діапазоні.

Згідно формулам Френеля відбиття може бути розраховане не тільки для прозорих тіл, але також для металів. Теорія дає аналогічні результати, основна відмінність полягає в тому, що такі матеріали характеризуються комплексним показником заломлення: $n_c = n - j \cdot n \cdot k_c$ [3]. Відбите світло тільки частково поляризоване, а поляризаційні фільтри можуть бути корисні лише для його часткового приглушення.

Найбільш поширений підхід для опису стану поляризації випромінюваного або відбитого світла полягає у вимірюванні параметрів Стокса [3]. Параметри Стокса визначаються шляхом вимірювання інтенсивності випромінювання, яке проходить через пару поляризатор/аналізатор, орієнтовану під різними кутами, для вимірювання величини конкретного стану поляризації.

В роботі розглядаються поляризаційні методи виявлення відбитого теплового випромінювання і обговорюються можливості його зменшення.

Ключові слова: теплове відбиття, параметри Стокса, інфрачервоні камери.

Література

- [1] І. В. Карпенко, В. Г. Колобродов, Б. В. Сокол, "Поляризаційний метод виявлення теплоконтрастної цілі на фоні завад", *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*, №1, с. 33-37, 2018.
- [2] Henke, S., et al. "Identification and suppression of thermal reflections in infrared thermal imaging", *Inframation Proc*, №5, pp. 287-298, 2004.
- [3] В. Г. Колобродов, *Хвильова оптика. Частина I. Електромагнітна теорія світла та інтерференція*. Київ, Україна: Політехніка, 2017.

УДК 520.85, 520.44, 520.6.05

ОПТИКО-МЕХАНІЧНИЙ БЛОК СКАНУЮЧОГО ПОЛЯРИМЕТРА СКАНПОЛ: ВИМІРЮВАЧ ПАРАМЕТРІВ СТОКСА

¹⁾Синявський І. І., ¹⁾Іванов Ю. С., ²⁾Оберемок Є. О., ¹⁾Сосонкін М. Г.

¹⁾Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ, Україна

²⁾Київський Національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

E-mail: syn@mao.kiev.ua, iva@mao.kiev.ua, sosonkin@mao.kiev.ua, oya@univ.kiev.ua

Авторами наведені результати розробки експериментального зразку оптико-механічного блоку (ОМБ) скануючого поляриметра СканПол космічного експерименту Аерозоль-УА, що має на меті створення бази даних, яка

ґрунтується на безперервному вимірюванні з супутника оптичних характеристик аерозольних і хмарних частинок в атмосфері Землі протягом тривалого проміжку часу [1].

У роботі розглянута оптична схема поляриметра, що базується на концепції космічної місії НАСА Glory, метою якої був моніторинг просторового і часового розподілу основних характеристик тропосферних і стратосферних аерозолів в атмосфері Землі за допомогою поляриметра APS. Виготовлено, складено та від’юстовано експериментальний зразок ОМБ Сканпол та приведені його основні характеристики. Теоретично обґрунтовано мінімально досяжну похибку визначення ступеню поляризації та азимуту поляризації вхідного світлового потоку у вимірювачі параметрів Стоксу СканПол за заданої точності визначення орієнтації осей призм Волластона, що буде враховано в поляриметричній моделі, запропонованій авторами в [2]. Проведено дослідження паразитних зображень, що виникають в оптичній системі та формуються в фокальних площинах камерних об’єктивів. Визначено положення паразитних зображень та введено додаткові діафрагми для їх блокування.

Роботу виконано за фінансової підтримки проекту 336Кт Аерозоль-УА (NAS) в рамках Цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень на 2018–2022 рр.

Ключові слова: поляриметрія, визначення параметрів Стокса.

Література

- [1] Milinevsky, et. all. “New satellite project Aerosol-UA: Remote sensing of aerosols in the terrestrial atmosphere,” *Acta Astronautica*, vol. 123, pp. 292-300, 2016.
- [2] G. Milinevsky, Y. Oberemok, I. Syniavskyi, A. Bovchaliuk, I. Kolomiets, I. Fesianov, Y. Wang, «Calibration model of polarimeters on board the Aerosol-UA space mission», *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, Vol. 229, pp. 92-105, 2019.

УДК 535.015

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА

Томашук А. С.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: tomashuk.alexander@gmail.com

Оптическая микроскопия применяется в различных областях науки и техники для измерения и контроля геометрических и энергетических параметров микрообъектов. Для получения результатов измерений приближенных к эталонным необходимо наличие высококачественной оптической системы и соответствующего метода измерения.

Качество оптической системы является комплексной оценкой. Наиболее главная ее характеристика – это частотно-контрастная характеристика.

Результат определения порогового контраста из нее является разрешающей способностью оптической системы микроскопа.

Конструкции оптических систем большинства оптических микроскопов не позволяют увеличивать размер отверстия входного зрачка до требуемых для увеличения разрешающей способности. Это оправдано некоторыми из видов аберраций, в особенности при просвечивании визируемого микрообъекта не точечным источником освещения.

Использование точечного источника освещения и апертур большего диаметра позволяет повысить разрешающую способность системы в целом, а также проводить высокоточные измерения геометрических параметров при удалении микрообъекта от фокусной плоскости [1].

На результат разрешающей способности оптической системы (объектива) использование точечного источника освещения не влияет, но на результат разрешающей способности метода измерений – да. Так, уменьшение физических размеров точечного источника освещения повышает разрешающую способность метода [2].

При увеличении пространственной частоты объекта увеличивается разность яркостей (контраст) между соседними дифракционными экстремумами изображаемой дифракционной картины, это необходимо учитывать при проведении эксперимента по получению частотно-контрастной характеристики.

Ключові слова: оптическая микроскопия, качество изображения, разрешающая способность, дифракция, контраст.

Література

- [1] А. Tomashuk, «Device for monitoring the temperature and diameter of an extended cylindrical object in the high-temperature manufacturing process», *IOP Conference series: Materials science and engineering*, 450(3), 032018, 2018.
- [2] И. Н. Тиликин, Т. А. Шелковенко, С. А. Пикуз, и Д. А. Хаммер, «Определение размеров источника излучения методом расчета дифракционных картин», *Оптика и спектроскопия*, № 115(1), с. 147-156, 2013.