

СЕКЦІЯ 2

ОПТИЧНІ ТА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ

УДК 681.7.08

КОНТРОЛЬ ФОРМИ ВВІГНУТИХ АСФЕРИЧНИХ ДЗЕРКАЛ

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

¹⁾Казенне підприємство спеціального приладобудування «Арсенал», м. Київ, Україна,

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

E-mail: pozdniakovd@gmail.com

Розвиток сучасної держави не можна уявити без використання космічного простору для вирішення як загальнодержавних, так і комерційних задач. Аналіз напрямків розвитку провідних держав світу засвідчує, що впровадження сучасних космічних технологій дозволяє вирішувати комплекс задач: зв'язку, навігації, картографування, моніторингу Землі та інше. Особливе значення має створення космічних систем дистанційного зондування Землі (КС ДЗЗ).

При створенні КС ДЗЗ, а саме, при створенні їх оптичних систем, виникає багато технічних проблем. Однією з таких проблем є забезпечення якості зображення, що вимагає використання високоточних методів контролю форми асферичних дзеркал при їх виготовленні. Задачею цих методів є побудова топологічної карти відхилення реальної поверхні асферичного дзеркала від її теоретичної форми.

В процесі роботи була розроблена оптична схема для контролю форми позаосьових сегментів осесиметричних ввігнутих асферичних дзеркал тридзеркального анастигматичного квазіортоскопічного об'єктиву з Патенту України №UA 94303. Дана схема, що представлена на рис.1, працює на базі анабераційних точок.

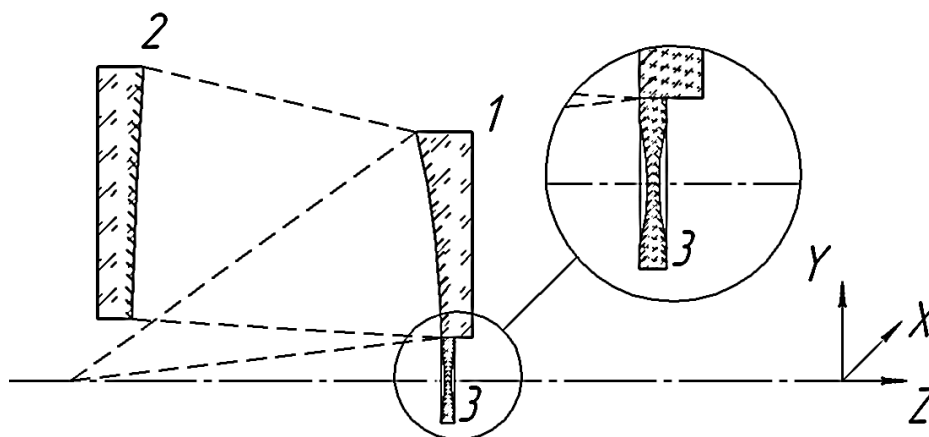


Рис.1. Оптична схема для контролю дзеркальної ввігнутої асферичної поверхні:
1 – асферична поверхня, 2 – технологічне сферичне дзеркало, 3 – допоміжна деталь

Особливістю розробленої схеми є використання допоміжної деталі 3 нової конструкції, сферичні та плоскі дзеркальні поверхні якої дозволяють багаторазово однозначно прив'язувати ввігнуту асферичну поверхню до контролюючого інтерферометра в процесі її виготовлення.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, контроль форми ввігнутих асферичних дзеркал.

УДК 681.78

МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛЕГШЕННЯ ДЗЕРКАЛ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ КОСМІЧНОГО БАЗУВАННЯ

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

¹⁾Казенне підприємство спеціального приладобудування «Арсенал», м. Київ, Україна,

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

E-mail: pozdniakovd@gmail.com

При створенні майже будь-якої оптичної системи космічного базування (телескопи, сканери, тощо), розробники прагнуть збільшити діаметр дзеркал, що в свою чергу збільшує не тільки апертуру приладу та просторове розділення, але й вагу оптики та вартість виводу всього приладу в цілому на орбіту. Тому питання полегшення дзеркал систем космічного базування при зберіганні високої якості форми робочих поверхонь є актуальним питанням при розробці цих систем.

Задача полегшення дзеркал – це зменшення маси дзеркал за рахунок конструктивних вибірок при забезпеченні достатньої жорсткості та міцності, що необхідна при виведенні системи на орбіту. Основним критерієм, по якому вибирається найкращий варіант полегшення, є деформація робочої поверхні, яка характеризується середньоквадратичним відхиленням хвильового фронту. Воно повинно бути забезпечене при виготовленні, контролі та експлуатації системи на орбіті в межах, що встановлені при попередньому розрахунку оптичної системи ($\text{RMS } 0,01 - 0,03 \lambda$).

Для моделювання полегшення дзеркал нами було обрано тридзеркальний анастигматичний квазіортоскопічний об'єктив. Він складається з трьох дзеркал: двох позаосьових сегментів осесиметричних ввігнутих дзеркал та одного осесиметричного асферичного опуклого дзеркала [Патент України №UA 94303]. Матеріалом дзеркал було обрано склокерамічний матеріал Zerodur®.

В процесі роботи у програмному пакеті SolidWorks Simulation було промодельовано багато різних типів полегшення та їх варіантів. В результаті вибрано тип полегшення для кожного з трьох дзеркал, проведена оптимізація типів полегшення за варіантами їх геометричних розмірів та вибрано варіант кріплення

дзеркал. Вага дзеркал до та після полегшення наведена у таблиці. Коефіцієнт полегшення для системи з трьох дзеркал склав 52%.

Вага дзеркал до та після полегшення

№ дзеркала	Вага до полегшення	Вага після полегшення
1	14,44 кг	7,19
2	0,6 кг	0,5
3	6,9 кг	3,8

Ключові слова: оптичні системи космічного базування, полегшення дзеркал.

УДК 621.382.2

**ВИКОРИСТАННЯ ВИПРОМІНЮЮЧИХ P-N-СТРУКТУР НА ОСНОВІ
КАРБІДУ КРЕМНІЮ, ПРАЦЮЮЧИХ У РЕЖИМІ ЕЛЕКТРИЧНОГО
ПРОБОЮ, ДЛЯ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ ФОТОЗ’ЙОМКИ
МІКРООБ’ЄКТІВ**

Воронов С. О., Генкін О. М., Генкіна В. К., Родіонов В. М.

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

E-mail: s.voronov@kpi.ua, genkin_a@ukr.net, v.rodionov@kpi.ua

Вивчалися р-п-структури на основі SiC–6H, отримані за допомогою сплавної технології. Використання пробійної електролюмінесценції визначає широкий положистий спектр випромінювання, що перекриває усю видиму ділянку, не залежний від величини живильного струму. Ширина забороненої зони SiC–6H становить біля 3 еВ, що відповідає фіолетовому кольору випромінювання. Тому використання SiC–6H, на відміну від багатьох інших напівпровідників, дозволяло спостерігати світіння через тверду та прозору товщу кристала, яка надійно захищала ділянку р-п-переходу від зовнішніх впливів. Електричний пробій у р-п-структурах був сильно локалізований. Ділянки локального пробою, так звані мікроплазми, мали мікронні та субмікронні розміри. Вони були розташовані у місцях дефектів структури р-п-переходу. Мікроплазми спостерігали за допомогою мікроскопа у вигляді сукупності великої кількості мікронних світних точок, які утворювали тонку, специфічну для кожного зразка, структуру.

З’ясовано, що якість зображень світної структури, при збільшенні при близьно у тисячу разів, залежала від характеристик оптичної системи мікроскопа та цифрової фотокамери. Основну роль відігравали характеристики об’єктива мікроскопа, розрізнення та чутливість фотокамери. Показано, що мікроплазмова випромінююча структура на основі SiC–6H може бути зручним засобом для оцінки відповідних параметрів пристроїв мікрофотоз’йомки.

Детально вивчені електролюмінісцентні характеристики окремих мікроплазм. Прилади з однією мікроплазмою можна використовувати як «ідеальні» точкові джерела оптичного випромінювання з широким спектром та високою стабільністю, що можуть отримати застосування у оптичних вимірюваннях, для імітації зоряного неба, тощо.

Ключові слова: карбід кремнію, пробійна електролюмінесценція, р-п-перехід, мікроплазма, мікроскоп, цифрова фотокамера, точкове джерело світла.

УДК 535.317

РАСЧЕТ ЗАФОКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТИВОВ ИЗ ДВУХ ЗЕРКАЛ

¹⁾Артюхина Н. К., ²⁾Zambrano Rivas Luz Fabiola of Alexander

¹⁾Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь,

²⁾University of the Andes (ULA), National Center for Optical Technologies, Merida, Venezuela

E-mail: art49@mail.ru, luzzambrano73@gmail.com

В настоящее в связи с расширением спектрального диапазона оптической аппаратуры широкое распространение в технике и научных исследованиях приобрели зеркальные системы, не имеющие хроматических аберраций. Двухзеркальные объективы имеют несложную и компактную конструкцию, широко используются как в наземных, так и в космических оптических приборах. Зафокальные системы определены областью, когда вторичное зеркало M_2 находится за фокусом F_1' главного зеркала M_1 [1].

В работе проводится исследование двухзеркальных зафокальных объективов, имеющих апланатическую коррекцию. Оптическая схема представлена на рисунке 1 (зеркало M_2 имеет центральное отверстие для прохождения светового пучка лучей).

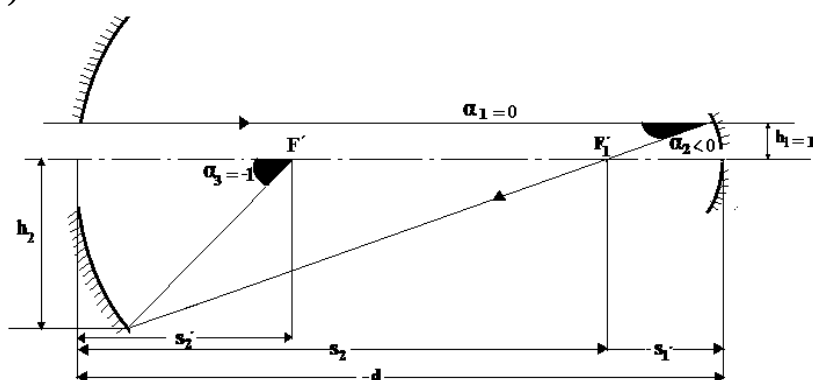


Рис. 1. Оптическая схема зафокального объектива

Величина свободного коррекционного параметра α_2 влияет на конструктивное решение схем; возможны 5 базовых вариантов: 1). $\alpha_2 > -1$; 2). $\alpha_2 = -1$; 3). $-1.618034 < \alpha_2 < -1$; 4). $\alpha_2 = -1.618034$; 5). $\alpha_2 < -1.618034$. Зафокальный объектив по схеме 3 состоит из главного малого и второго большого вогнутых зеркал с

равними по абсолютной величине радиусами кривизны. Объектив имеет аплантическую коррекцию и исправление кривизны изображения. Зеркала асферические – эллипсоиды. Установлено, что объективы 3 обеспечивают удовлетворительное качество изображения при относительных отверстиях до 1:1,3 и полях зрения до 4°. Экранирование определяется размером экрана, необходимым для защиты приемника излучения от прямой засветки. Коэффициент экранирования $\varepsilon = 0,56$.

Ключові слова: зафокальний об'єктив, еліпсоїд, зеркало.

Литература

1. Теория, методы проектирования и расчет оптики зеркальных систем: монография / Н.К. Артюхина. – Минск: БНТУ, 2009. -310 с.

УДК 535.317

ВОПРОСЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ КАТАЛОГИЗАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ

¹⁾Артюхина Н. К., ¹⁾Марчик В. А., ²⁾Peroza Flores Laura Victoria

¹⁾Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь,

²⁾University Yacambu (UNY), National Center for Optical Technologies, Caracas, Venezuela

E-mail: art49@mail.ru, peleng_optic@rambler.ru, lauravictorup3@gmail.com

Компьютерное моделирование оптики – один из этапов технологии информационной поддержки оптических систем (ОС). На рынке программных коммерческих продуктов представлен ряд пакетов прикладных программ для проектирования (ППП) и анализа ОС. Лидирующее положение занимают ППП Oral [1] и ПП Zemax [2].

Программные комплексы, обладая большими функциональными возможностями, не охватывают весь спектр задач, решаемых оптиком-расчетчиком в процессе производства. Проблема составления каталогов и создание библиотеки, используемой для моделирования и технологической адаптации ОС любой сложности, очень актуальна в связи с большими архивами рассчитанных оптических систем. Правильный выбор схемы с заданной областью оптических характеристик имеет определяющее значение для успешной реализации поставленной задачи. Каталоги позволяют наилучшим образом выбирать базовые схемы, при этом затрачивается минимальное время на разработку оптики приборов.

В настоящей работе рассмотрен аспект создания каталога (библиотеки) объектных модулей ОС различных классов, встроенных в конфигурацию компьютерных пакетов по расчету оптики. Под *оптическим модулем* будем понимать исторически сложившиеся схемные решения, которые могут использоваться как самостоятельно, так и в составе более сложной ОС. Предложены алгоритмы и установлен путь в архив с проверкой параксиальных характеристик.

Алгоритмы, представленные в работе, позволяют сократить время проектирования оптических систем за счет автоматизации процесса выбора его стартовой точки, отвечающей сформулированным требованиям технического задания и увеличивают быстродействие процедуры синтеза по сравнению с «ручными расчетами».

Таким образом, можно создавать свои библиотеки и каталоги, т.к. доступ к библиотеке, встроенной, к примеру, в ППП ORAL установлен только на чтение файлов, а не на их создание.

Ключові слова: моделирование оптики, автоматизация, алгоритм, каталог (библиотека) объектных модулей.

Литература

1. Артюхина, Н. К. Компьютерное проектирование оптических систем: учеб-метод. пособие: в 2 ч. / Н. К. Артюхина, В. А. Марчик; Мин-во образования Респ. Беларусь; БНТУ. – Минск, 2007. (гриф УМО).
2. The Photonics Handbook, Book 3, 52nd International Edition, A. Laurin Publication, 2006.

УДК621.757

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТАНОВКИ КОНТРОЛЯ КРУЖКА РАССЕЙВАНИЯ

*Гураль Т. И., Добровольская Е. В., Нгуен К. А., Соболев В. П., Тягунов В. М.
Казённое предприятие специального приборостроения «Арсенал», г. Киев, Украина
E-mail: tigur2@ukr.net*

Функция рассеивания точки (ФРТ) является универсальной характеристикой объектива, которая позволяет при необходимости рассчитать основные его параметры, такие как функция концентрации энергии (ФКЭ), модуляционная передаточная функция (МПФ), число Штрелля и др. При контроле объектива, собирающего излучение, наиболее важной характеристикой является ФКЭ.

Нами была разработана установка измерения ФРТ для обеспечения серийного производства светосильных объективов, работающих из «бесконечности». Основными оптическими элементами установки являются коллиматор, тест-объект, выполненный в виде точечной диафрагмы, видеокамера и источник излучения – светодиод. Контроль объективов осуществляется в «обратном ходе», т.е. тест-объект устанавливается в фокальной плоскости контролируемого объектива. Приемная видеокамера устанавливается в фокальной плоскости коллиматора. Для получения оптимально-информационного изображения точечной диафрагмы выбрано увеличение оптической системы, равное 12^x , при этом фокусные расстояния объектива коллиматора и контролируемого объектива равны 600 мм и 50 мм соответственно, а расчетное значение диаметра кружка – 0,1 мм. Диаметр точечной диафрагмы равен 10 мкм. Для поиска плоскости наилучшего изображения видеокамера перемещается вдоль оптической оси относительно фокальной плоскости объектива коллиматора.

Управление видеокамерой, регистрация изображения тест-объекта, его обработка и расчет характеристик контролируемого объектива осуществляется с использованием прикладного программного обеспечения (ПО) для ПК.

В результате расчета определяются следующие характеристики:

1) координаты центра кружка рассеивания методом определения энергетического центра тяжести изображения тест-объекта и распределение энергии в пределах кружка рассеивания;

2) ФКЭ по осям X и Y и размеры кружка рассеивания в направлении осей X и Y для уровней концентрации энергии 90% и 99%;

3) сечения изображения тест-объекта по осям X и Y.

На рис. 1 представлены изображения обработанного кружка рассеивания контролируемого объектива.

При расчете координат энергетического центра тяжести и ФКЭ возникает проблема корректного определения границ пятна из-за влияния фонового излучения, поэтому в ПО есть функция вычитания фона из изображения кружка рассеивания и задание порога, ниже которого интенсивность излучения на пикселе видеокамеры приравнивается к нулю.

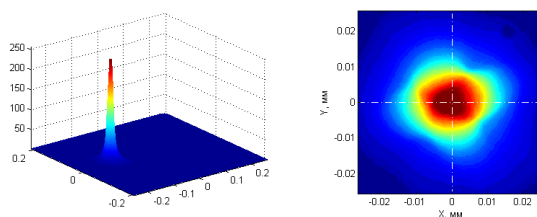


Рис. 1. Зарегистрованный и обработанный кружок рассеивания

Ключевые слова: контроль характеристик объективов, кружок рассеивания, функция рассеивания точки, функция концентрации энергии.

УДК 681.7:681.785.47; 535.241.6:535.36

ПОРІВНЯННЯ ЗА ЕКОНОМІЧНІСТЮ СВІТИЛЬНИКІВ ДЛЯ МАЙЖЕ РІВНОМІРНОГО ОСВІТЛЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ФОТОМЕТРИЧНОЇ КУЛІ (ПІВКУЛІ)

Камінський С. Ф.

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

E-mail: serhii_kaminskyi@ukr.net

Нерівномірність освітленості ΔE внутрішньої поверхні (ВП) фотометричної кулі (ФК) з рівномірними (ізотропними) джерелами світла (ДС) біля її вихідного отвору (ВО) при великих його діаметрах значно більша, ніж з ДС, що мають вужчу діаграму направленості (ДН) [1].

З теорії ФК [2] відомо, що ДС, яким є мала ділянка її ВП і яскравість якої однакова у всіх напрямках, рівномірно освітлює всю ВП ФК ($\Delta E=0$), а його сила світла в напрямі, що утворює кут α з радіусом ФК, пропорційна косинусу кута α (ДН 120° на рівні 0,5).

Отже, чим менше ДН ДС відрізняється від ДН ДС косинусного типу, тим значення ΔE менше. Але різновидів таких ДС мало, тому потрібно використовувати світильники, що складаються з ДС і освітлювальної арматури, яка перерозподіляє світловий потік ДС таким чином, щоб ДН світильника була близька до ДН світильника косинусного типу.

Для порівняння вибрані три типи таких світильників: а) з дифузним відбивачем [3], б) з дзеркальним відбивачем [3] і розсіювачем, в) на основі інтегруючої сфери [4] та розраховані їх коефіцієнти корисної дії (ККД).

Результати розрахунків ККД для двох значень інтегрального коефіцієнта відбиття ρ відбивача і для інтегрального коефіцієнта пропускання $\tau=0,61$ розсіювача (молочне скло МС23) наведено в таблиці.

Тип світильника	ККД світильника	
	$\rho=0,99$	$\rho=0,85$
з дифузним відбивачем (півсфера)	0,99	0,87
з дзеркальним відбивачем (асферика) і розсіювачем (пластина)	0,60	0,54
інтегруюча сфера діаметром D (ВО D/4-D/3)	0,37-0,53	0,088-0,16

Як видно з таблиці, найбільший ККД має світильник з дифузним відбивачем, а найменший – інтегруюча сфера (менший в 1,9-2,7 раза), при цьому при зменшенні ρ її ККД зменшується ще в 3,3...4,2 раза більше, ніж ККД інших світильників, і стає в 5,4...9,9 раза меншим від ККД світильника з дифузним відбивачем.

Ключові слова: фотометрична куля, внутрішня поверхня, нерівномірність освітленості, світильник, економічність, коефіцієнт корисної дії.

Література

1. Камінський С. Ф. Нерівномірність освітленості внутрішньої поверхні фотометричної кулі з джерелами світла біля її вихідного отвору // Збірник тез доповідей XIV Міжнародної наук.-техн. конференції „ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи”, Київ, 2015. - С. 61-62.
2. Гуревич М. М. Фотометрия (теория, методы и приборы). – Л.: ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, Ленинградское отделение, 1983. – 272 с.
3. Справочная книга по светотехнике. Том I. Световые приборы и источники света. – М.: Издательство Академии наук СССР, 1956. – 472 с.
4. Міхеєнко Л. А. Дифузний випромінювач змінної яскравості для калібрування прецизійних цифрових відеосистем / Л. А. Міхеєнко, В. А. Шишкін // Наукові вісті НТУУ КПІ. – 2009. – № 1. – С. 114-120.

УДК 535.317.2

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЯРИЗАЦІЙНО-ЧУТЛИВОГО ОПТИЧНОГО СЕНСОРА З НАНОГРАТКАМИ

Продан Д. І., Дуболазов О. В.

Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, м. Чернівці, Україна

E-mail: prodan-d@bk.ru

Дана робота присвячена відтворенню та можливості покращення результатів отриманих науковцями Рочестерського технологічного інституту. Їхня робота полягала в створенні оптичних датчиків, які дозволяють виявити, для збору даних, швидко рухомих об'єктів в навколишньому середовищі. Це може бути досягнуто за допомогою лінійного поляризатора шляхом одночасного збору трьох поляризаційних зображень для кожного пікселя на 0, 60 і 120 градусів. Для цього був створений супер піксель, який складається з 2×2 пікселів, кожен з яких лінійно поляризований під певним кутом, як показано на (Рис. 1).

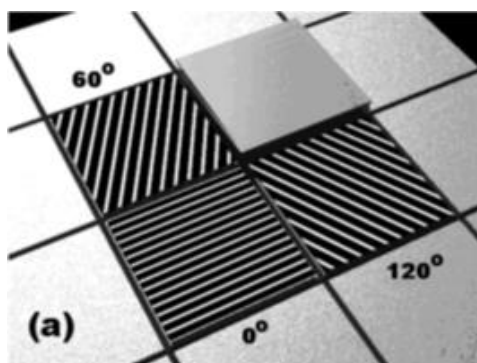


Рис.1. Зображення матриці 2×2 пікселів, три з яких поляризовані під 0, 60 і 120 градусів, а четвертий піксель не поляризований

Метою нашої роботи було дослідження випромінювання розсіяного дифракційними ґратками нано розмірів залежно від кута падіння та довжини падаючої хвилі. Для дослідження характеристик розсіяного випромінювання ми проводили моделювання в середовищі COMSOL Multiphysics. В якості об'єкта дослідження було обрано ґратки розміром 500нм, 250нм та 80нм з радіусами проводів 100нм, 50нм і 16нм.

Якщо довжина хвилі падаючого випромінювання є меншою в порівнянні з постійною ґратки, то будуть спостерігатись один або декілька дифракційних порядків. В якості параметрів ми використовували коефіцієнти пропускання та відбивання для нульового та першого порядку дифракції.

Ключові слова: поляризатор, дифракційна ґратка, математичне моделювання.

Література

1. Alan D. Raisanen, Michael D. Presnar/simulation of practical single-pixel wire-grid polarizers for superpixel stokes vector imaging arrays / Optical Engineering 51(1), 016201 (January 2012), published online Feb. 7, 2012.

2. Xiaojin Zhao, Student Member, IEEE, Farid Boussaid, Senior Member, IEEE, Amine Bermak, Senior Member, IEEE, and Vladimir G. Chigrinov/Thin Photo-Patterned Micro Polarizer Array for CMOS Image Sensors / IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 21, NO. 12, June 15, 2009.
3. К.С. Ладутенко, П.А. Белов / Моделирование интегральных схем нанофотоники: метод FDTD/2012, 3 (5), С. 42–61.

УДК 528.7:629.78

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИФFUЗНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОЙ ЯРКОСТИ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКИ-СОПРЯЖЕННЫХ ИНТЕГРИРУЮЩИХ СФЕР

Михеенко Л. А.

*Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт",
м. Київ, Україна,*

E-mail: mlaoop@gmail.com

Диффузные излучатели переменной яркости (ДИПЯ) на основе оптически-сопряженных интегрирующих сфер (ИС) имеют, по сравнению с традиционными излучателями, существенно лучшие фотометрические и метрологические характеристики. Однако проектирование таких систем встречает известные трудности, вызванные, с одной стороны тем, что задача является многопараметрической, причем связь между параметрами ДИПЯ является сложной и часто косвенной, а с другой стороны, часть параметров излучателя (коэффициент яркости и спектральная характеристика покрытия ИС, расположение и размеры источников излучения, размеры апертурных диафрагм и ряд других) не имеют аналитического описания.

В докладе рассматриваются вопросы оптимизации конструктивных параметров ДИПЯ на основе оптически-сопряженных ИС с целью получения максимально возможной яркости выходной апертуры. При этом, с учетом изложенных выше соображений, для энергетического анализа ДИПЯ был использован численно-аналитический метод, при котором часть зависимостей устанавливалась расчетами, часть конструктивной проработкой и схемотехническим моделированием, а часть получена аналитически. Кроме этого, анализ выполнялся в два этапа – сначала были изучены общие приближенные закономерности, а затем, после конструктивной и схемотехнической коррекции, было проведено более точное исследование, включающее оптимизацию основных параметров.

Проведенный по предложенной методике анализ показал:

1. Наиболее эффективно для повышения выходной яркости ДИПЯ увеличение числа первичных излучателей.
2. Существует оптимальное соотношение размеров калибровочной диафрагмы и выходной апертуры ДИПЯ (энергетический параметр P), при котором яркость ДИПЯ максимальна. Значение $P_{\text{опт}}$ составляет 0.95 ... 1.5.

3. Оптимальное количество первичных излучателей находится в пределах 5...7, если значение P соответствует оптимальному (т.е. 0.95...1).

4. Увеличение коэффициента заполнения источниками излучения первичных ИС увеличивает выходную яркость ДИПЯ, причем тем больше, чем больше количество первичных излучателей.

Ключевые слова: диффузный излучатель переменной яркости, конструктивные параметры, оптимизация.

УДК 535.31 681.7

ПРОГРАМНА КОРЕКЦІЯ ДИСТОРСІЇ ОПТИЧНИХ СИСТЕМ

Кравченко І. В.

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

Врахування проявів спотворення зображення за рахунок дисторсії є необхідним для актуалізації інформації при дистанційному зондуванні, аерофотографії, в системах автоматичної навігації, в робототехніці, технічних вимірюваннях засобами машинного зору, астрономії, медицині, де неізопланатичність оптичної системи призводить до похибки лінійних або кутових вимірювань. Для ширококутних об'єктів загального вжитку з полем зору біля 60^0 дисторсія може становити на краю поля до 15%.

Коригування дисторсії в технічних системах може проводитися програмним способом за рахунок калібровочних поправок. Практичні моделі дисторсії базуються на застосуванні розкладання різниці між ідеальним та реальним зображенням в ряд.

Джерелами обчислювальних похибок при розрахунках дисторсії є похибки методів виявлення реперних точок на зображенні (метод Harris, FAST, SUSAN), похибки методів відновлення дискретної структури зображення (безінтерполяційне, з білінійною, бікубічною або сплайн інтерполяцією), похибки усікання ряду Тейлора при обрахунках функції дисторсії.

Програмна компенсація радіальної дисторсії є найбільш простою з точки витрат часу, пам'яті, вона дозволяє провести пряме обчислення зворотної функції дисторсії. Саме такі алгоритми починають впроваджуватися в зовнішнє (CUDA) та внутрішнє (FPGA) програмне забезпечення графічних процесорів. Для розробників доступні декілька бібліотек. Бібліотека Lensfun моделює радіальну центровану дисторсію поліномами 5-го, 3-го, та 4-го ступеню та має базу даних оптичних систем. Бібліотеки OpenCV для мови C та J, Bouquet для Matlab базуються на моделі Брауна-Конраді та враховують радіальну та тангенційну дисторсію.

Експериментальні та обчислювальні експерименти показують, що програмна корекція радіальної дисторсії дозволяє знизити вплив дисторсії до субпіксе-

льних значень, врахування коефіцієнтів тангенціальної дисторсії зменшує додатково похибку на десятки відсотків. Врахування 5-ти додатків ряду забезпечує субпіксельну точність корекції дисторсії.

Ключові слова: дисторсія, корекція дисторсії, цифрова обробка зображень.

Література

1. *Proc. SPIE* 7266, Optomechatronic Technologies 2008, 726601 (November 17, 2008); doi: 10.1117/12.819355

УДК 534.42

АБЕРАЦІЙНА МОДЕЛЬ НЕПАРАКСІАЛЬНОЇ ДИФРАКЦІЙНОЇ ЛІНЗИ

Балінський Є. Г., Сірий Є. А.

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

E-mail: jump.to.sun@gmail.com

На сьогодні спостерігається тенденція щодо частішого застосування дифракційних лінз (ДЛ) при проектуванні оптичних систем (ОС). Завдяки своїм унікальним властивостям ДЛ успішно використовуються для корекції хроматичної та атермічної аберацій ОС. Зазвичай такий дифракційний коректор розраховується у параксіальному наближенні на основі не складних рівнянь, має незначну оптичну силу та практично не впливає на монохроматичні аберації всієї ОС. У свою чергу ДЛ, що розрахована згідно непараксіальної моделі, здатна формувати асферичний хвильовий фронт, що робить можливим її застосування у вигляді коректора монохроматичних аберацій. Тому є важливим математично описати аберації непараксіальної ДЛ.

Шляхом порівняння оптичних шляхів між головним та маргінальним променями було розроблено загальну абераційну модель непараксіальної ДЛ. Нижче наведені отримані вирази хвильових аберацій (сферична аберація, кома, астигматизм, кривизна поля та дисторсія відповідно):

$$\begin{aligned} W_{040} &= \frac{R^4}{8f_0^3} \left(\frac{\lambda^3 - \lambda\lambda_0^2}{\lambda_0^3} \right), \\ W_{131} &= \frac{1}{2} \frac{R^3}{f_0^2} \operatorname{tg}(\alpha) \left[\frac{t}{f_0} \frac{\lambda^3 - \lambda\lambda_0^2}{\lambda_0^3} + \frac{\lambda^2 - \lambda_0\lambda}{\lambda_0^2} \right], \\ W_{222} &= \frac{3}{4} \frac{R^2}{f_0} \frac{\lambda}{\lambda_0} \operatorname{tg}^2(\alpha) \left[\left(\frac{t\lambda}{f_0\lambda_0} + 1 \right)^2 - \left(\frac{t}{f_0} + 1 \right)^2 \right], \\ W_{220} &= \frac{1}{2} R \cdot \operatorname{tg}^3(\alpha) \left[\left(\frac{t\lambda}{f_0\lambda_0} + 1 \right)^3 - \left(\frac{t}{f_0} + 1 \right)^3 \frac{\lambda}{\lambda_0} \right], \end{aligned}$$

$$W_{311} = R \cdot \sin(\alpha) \left(1 - \frac{\lambda}{\lambda_0} \right) - R \cdot \operatorname{tg}(\alpha) t \left(\frac{\lambda - \lambda_0}{f_0 \lambda_0} \right),$$

де R – половина лінійної апертури ДЛ; α – кут падіння; t – положення апертурної діафрагми ДЛ; λ_0 , λ – розрахункова та робоча довжини хвиль ДЛ; f_0 – розрахункова фокусна відстань ДЛ. При $t=0$ представлені вирази співпадають із наведеними у літературі.

Були розроблені методи корекції сферичної аберації та аберації коми рефракційної ОС шляхом використання непараксимальної ДЛ, достовірність яких підтверджена моделюванням рефракційно-дифракційних ОС у спеціалізованому оптичному програмному забезпеченні.

Ключові слова: дифракційна лінза, монохроматичні аберації.

УДК 535.42

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОПОРЯДКОВИХ ДИФРАКЦІЙНИХ ЛІНЗ

Кучугура І. О., Колобродов В. Г.

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

У наш час дифракційні лінзи (ДЛ) широко використовуються в сучасних оптичних системах, зокрема, в офтальмології. Потенційні можливості ДЛ насамперед залежать від технології їх виготовлення, яка подекуди повинна забезпечувати відновлення хвильового фронту із точністю до $1/20$ довжини хвилі світла. Оптичні характеристики ДЛ у значній мірі залежать від розмірів мікрорельєфу, зокрема, від положення дифракційних зон та глибини канавок. Тому є необхідним проведення оцінки впливу похибок виготовлення мікрорельєфу ДЛ на їх оптичні характеристики. Теоретично це можна здійснити шляхом навмисного введення похибок в ідеальний мікрорельєф.

Проектування багатопорядкових дифракційних лінз (БПДЛ), які працюють одночасно в декількох дифракційних порядках, є перспективним напрямком для розробки нових конструкцій інтраокулярних лінз (ІОЛ). Тому було проведено теоретичне дослідження впливу можливих похибок виготовлення БПДЛ на якість створюваного ними зображення.

Проведено комп'ютерне моделювання БПДЛ, розрахованої в попередніх дослідженнях. Було побудовано комп'ютерну 3D модель БПДЛ із такими параметрами: фокусна відстань у повітрі $f=100$ мм, $p=6$, матеріал ПММА, розрахункова довжина хвилі $\lambda_0 = 0,525$ мкм. У межах світлового діаметру лінзи $D = 7$ мм розміщується 19 дифракційних зон, а максимальна глибина канавки складає 6 мкм.

За основу для проектування ІОЛ було взято рефракційно-дифракційну ІОЛ, перша поверхня якої є сферичною, радіусом $R = 10,91$ мм, а на другу, плоску, нанесений рельєф розрахованої БПДЛ.

Готову комп'ютерну модель такої ІОЛ було імпортовано у програму «ZEMAX», де було проведено аналіз оптичних характеристик елемента, таких як модуляційна передавальна функція, точкова діаграма, різниця оптичної довжини ходу та діаграма аберацій променів даної лінзи для різних довжин хвиль. Згідно із абераційним аналізом така лінза майже не вносить аберацій, а її якість наближається до дифракційно обмеженої. Тому оптичні характеристики БПДЛ із внесеними похибками дифракційних зон та глибини канавок порівнювалися з нею як з ідеальною. Крім того, були проведені дослідження лінз із внесеними похибками випуклості та нахилу вертикальної стінки.

Ключові слова: інтраокулярна лінза, багатопорядкові дифракційні лінзи, похибки виготовлення мікрорельєфу.

УДК 535.8

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТЕНЕВОГО МЕТОДА В ЦИФРОВОЙ ОПТИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ

Фесенко А. В., Боровицкий В. Н.

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

В работе рассмотрены методические, инструментальные и случайные погрешности при измерении профиля поверхности теневым методом (рис. 1) в цифровом оптическом микроскопе.

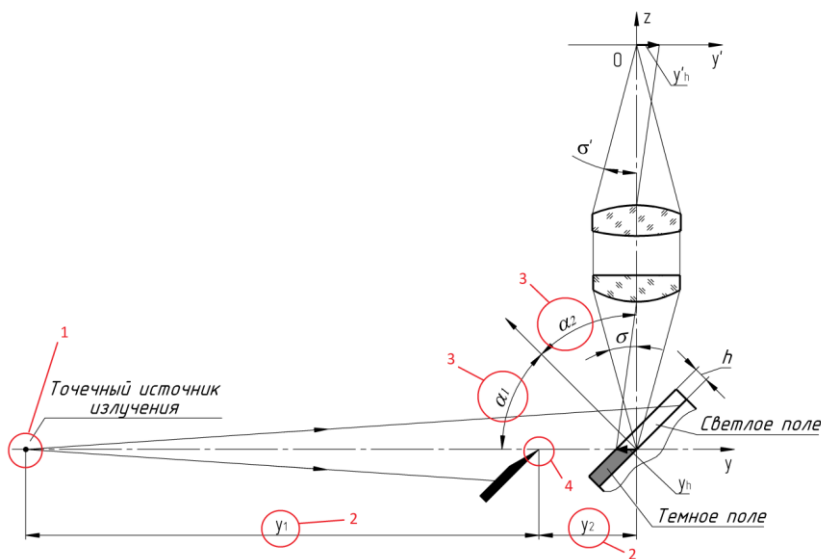


Рис. 1. Схема теневого метода с указанием источников внесения погрешностей в измерения

Приведена методика расчета частных погрешностей и оценивается их вклад в суммарную погрешность измерения. Наиболее существенным являются влияние шумов фотоприемника и погрешности изготовления кромки ножа. Однако шумы приемника излучения могут быть уменьшены путем увеличения освещенности поверхности образца за счет применения более мощного источника излучения.

Погрешности изготовления кромки ножа могут быть частично скомпенсированы при помощи цифровой обработки полученных изображений.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования подтверждают возможность применения предложенного теневого метода для измерения профиля поверхности. При этом погрешности измерения профиля не будут превышать погрешностей измерения в двойном микроскопе Линника. А цена предложенного модуля для измерений профиля будет в десятки раз меньше цены двойного микроскопа Линника.

Ключевые слова: метод теневого сечения; измерение; погрешности; точность; математическая модель.

УДК 519.6

ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ГЛОБАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ MVMO І MVMO-SH

Сокуренько В. М., Сокуренько О. М.

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

Багато сучасних задач з різних галузей науки та техніки є багаторозмірними, нелінійними та настільки складними за своєю природою, що розв'язати їх класичними оптимізаційними методами, на жаль, не вдається. Прикладом такої нетривіальної задачі є автоматизація процедури проектування довільної батокомпонентної оптичної системи. Тому в останні роки суттєвий поштовх отримали пошук та вдосконалення метавристичних методів оптимізації.

В 2010 році І. Ерліх (István Erlich) вперше запропонував алгоритм глобальної оптимізації «Mean Variance Mapping Optimization» (MVMO). Варіант цього алгоритму, опублікований І. Ерліхом та І. Руеда (Ing. Rueda) у 2014 році, виявився настільки вдалим, що став переможцем серед інших еволюційних методів глобальної оптимізації на міжнародній конференції IEEE-CEC. Вказаними авторами був також запропонований гібридний метод MVMO-SH, в якому вже застосовується набір частинок, кожна з яких має власну «пам'ять», а для поліпшення збіжності використано підпрограму локального пошуку.

Метою даної роботи є перевірка дієздатності методів MVMO і MVMO-SH та виявлення найбільш ефективного з них з точки зору швидкодії та відсотку

знаходження вірних розв’язків. Для цього в даній роботі MVMO і MVMO-SH чисельно порівнювалися з такими відомими методами як імітаційний відпал (simulated annealing), генетичний алгоритм (genetic algorithm) та декількома варіантами методу диференційної еволюції (differential evolution).

Алгоритми всіх зазначених методів були реалізовані в одній програмі. Для чисельного порівняння була складена колекція з 50 тестових функцій, відомих з різних джерел. Розмірність простору параметрів розглянутих тестових функцій досягала 20. Процедура знаходження розв’язку багатократно повторювалася для кожного алгоритму та кожної тестової функції. Ефективність методу оцінювалася за кількістю обчислень оціночної функції та відсотком випадків, коли алгоритм виявився нездатним за обмежену кількість кроків знайти оптимальний розв’язок з заданим допустимим відхиленням.

В доповіді представлені результати досліджень, виявлені переваги й недоліки MVMO і MVMO-SH та визначено алгоритми, які можуть бути рекомендовані до використання як найбільш потужні та ефективні.

Ключові слова: алгоритм, глобальна оптимізація, Mean Variance Mapping Optimization, MVMO.

УДК 535.317.2

ІНТЕРФЕРОМЕТР РОНКІ

Маленко О. С., Боровицький В. М.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,

E-mail: omalenko@ukr.net

В роботі розглядається математична модель інтерферометра Ронкі [1-4], яка реалізована у вигляді програмного забезпечення.

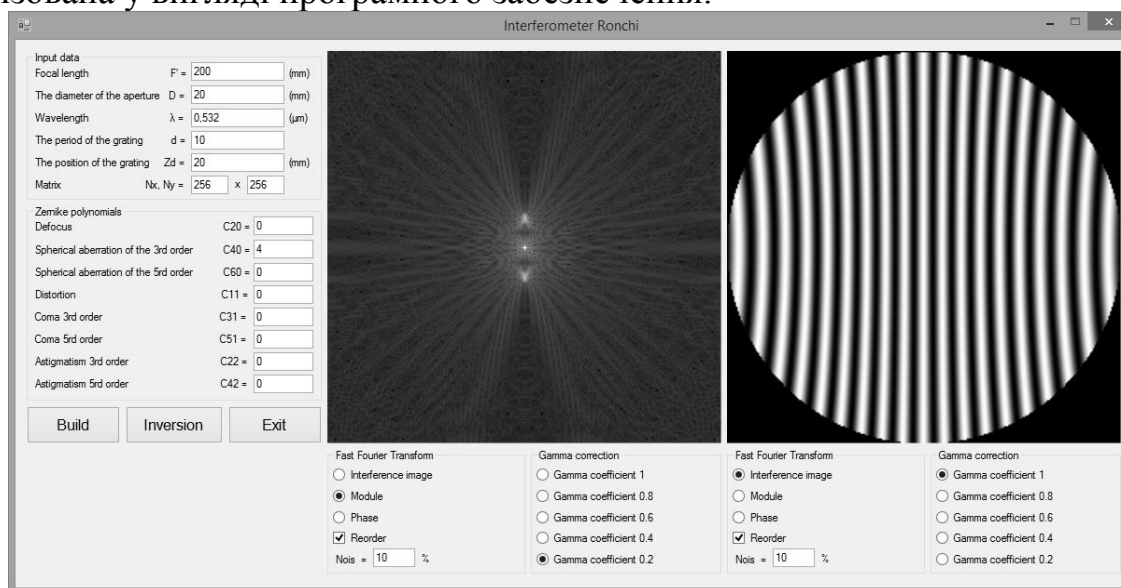


Рис.1. Програмна реалізація математичної моделі інтерферометра Ронкі

Програмне забезпечення дозволяє генерувати цифрові інтерференційні зображення (цифрові інтерферограми) та їх просторові спектри в залежності від параметрів оптичної системи та її хвильових абераций (рис.1.). Хвильові аберации задаються коефіцієнтами Цернике при їх розкладанні у поліноми Цернике.

Запропонована математична модель враховує всі основні аберации: дефокусування, дисторсія, а також – сферична аберация, кома, астигматизм (3-го і 5-го порядків). Планується доповнити математичну модель методами оцінювання якості оптичної системи по цифровим інтеферограмам без повного підновлення хвильових абераций та створити відповідне програмне забезпечення.

Ключові слова: інтерферометр Ронкі, математичне моделювання, поліноми Цернике.

Література

1. V. Ronchi, "Le Frange di Combinazioni Nello Studio delle Superficie e dei Sistemi Ottici," Riv. Ottica Mecc. Precis. 2, 9 (1923).
2. V. Ronchi, "Due Nuovi Metodi per lo Studio delle Superficie e dei Sistemi Ottici," Ann. Sc. Norm. Super. Pisa, 15 (1923).
3. Ронки В. Испытание оптических систем. – М. – Л.: Гос. технико - теоретическое изд-во, 1933.
4. Малакара Д. Оптический производственный контроль. – М.: Машиностроение, 1985.

УДК 621.382

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОГЛЯДОВИХ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Микитенко В. І.

*Національний технічний Університет України “Київський політехнічний інститут”
м. Київ, Україна*

В доповіді викладено результати оцінювання ефективності функціонування оптико-електронних систем (ОЕС) видимого та інфрачервоного діапазонів спектру, які розміщуються на безпілотних літальних апаратах (БПЛА).

Одним з найбільш вживаних критеріїв оцінки ефективності функціонування телевізійних та тепловізійних систем є показник успішності виконання завдання TTP [1]. Одновимірною функцією TTP визначається відношенням

$$TTP = \int_{\nu_1}^{\nu_2} \sqrt{\frac{C(\nu)}{CTF(\nu)}} d\nu,$$

де $C(\nu)$ - контраст зображення об'єкта; $CTF(\nu)$ - функція порогового контрасту (ФПК) ОЕС в діапазоні (ν_1, ν_2) просторових частот, де вона не перевищує сигнал об'єкта.

Зображення, які формуються ОЕС БПЛА, містять як рухомі, так і нерухомі кадри. Крім того час спостереження, як правило, є обмеженим. Відповідно суттєво змінюються значення функцій, що входять в показник якості.

Дослідження впливу параметрів руху БПЛА і особливостей зорового сприйняття для усереднених умов спостереження з допомогою ОЕС телевізійного типу показали відносну сталість показника якості. Інші результати показав аналіз TTP ОЕС тепловізійного типу. В таких системах ФПК системи залежить від еквівалентної шуму різниці температур $NETD$, температурного діапазону фоно-цільової обстановки $\Delta T_{\max}$, модуляційної передавальної функції зорової системи $MTF_v(\nu)$

$$CTF(\nu) = \frac{CTF_v(\nu)}{MTF(\nu)} \sqrt{1 + \left(\frac{MTF_v(\nu)(\nu) \cdot NETD}{\Delta T_{\max}} \right)^2},$$

де $CTF_v(\nu)$ - ФПК зорової системи; $MTF(\nu)$ - модуляційна передавальна функція ОЕС.

Розрахунки показали, що в залежності від величини температурних контрастів $\Delta T_{\max}$ система «ОЕС – спостерігач» може бути обмеженою шумами або зоровими порогоми. В першому випадку фіксуються найменші зміни температурних контрастів. Такі умови спостереження є характерними для ранкових чи вечірніх сутінків. Отже саме ці години доби є найкращими для тепловізійних спостережень з БПЛА.

Ключові слова: оптико-електронна система спостереження, критерії ефективності, авіаційні спостереження.

Література

1. Vollmerhausen R. H. The targeting task performance (TTP) metric. A new model for predicting target acquisition performance / Richard H. Vollmerhausen, Eddie Jacobs // Technical report AMSEL-NV-TR-230. – 2004. – 126 p.

УДК 621. 332. 32. 004. 6

ОЦІНКА ВПЛИВУ ПОХИБКИ ПОЛОЖЕННЯ КОНТАКТНОГО КАБЕЛЮ НА ЙОГО ДІАГНОСТИКУ

Кучеренко О. К.

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

E-mail: oleg.k.kucherenko@gmail.com.

Безпека експлуатації залізничного транспорту вимагає безперервного контролю зносу контактного кабелю. В наслідок тертя токоприймача з кабелем конфігурація кабелю змінюється, тому потрібний моніторинг його стану. Моніторинг повинен здійснюватися безконтактним способом, оскільки кабель знаходиться під високою напругою. В місцях зносу кабелю змінюється площа його поперечного перетину, в наслідок чого збільшується густина струму, що протікає кабелем, і спостерігається перегрів кабелю.

Для визначення ступені зносу кабелю пропонується скористатися проєкційним методом в сукупності з засобами теплового радіаційного контролю. Ці засоби передбачають три категорії зносу контактного кабелю:

- 1-ша категорія передбачає перегрів менше 5°C , при якому кабель потрібно тримати під контролем і піддати технічному обслуговуванню при наступній перевірці;
- 2-га категорія передбачає перегрів на $5\text{--}30^{\circ}\text{C}$, при якому необхідний ремонт найближчим часом з урахуванням навантаження;
- 3-тя категорія передбачає перегрів більше ніж на 30°C , при якому потрібний терміновий ремонт з урахуванням навантаження.

Запропонована автором проєкційна оптична система містить вимірювальний канал, що працює у видимому діапазоні спектру і в якості фотоприймача використовує ПЗЗ матрицю. Завдання цього каналу визначати положення кабелю відносно оптичної осі проєкційного об'єктива і вимірювати лінійні розміри кабелю. Другим каналом є інфрачервоний канал на базі оптичної схеми радіометра з болометричним приймачем, що визначає місця перегріву контактної кабелю. Підсвічування кабелю здійснюється лазером з оптичною системою розширювача і системою дзеркал.

Під час проведення діагностики кабелю спостерігається зміна його положення по відношенню до можливого розрахункового положення площини предметів проєкційної оптичної системи. Така зміна положення обумовлена провисанням кабелю під дією власної ваги, а також можливим впливом обледеніння в зимовий період. Це призводить до розфокусування оптичної системи і, як наслідок, зміни розмірів зображення кабелю, а також похибки визначення температури кабелю радіометром.

Проведені дослідження дозволили встановити залежність між можливими похибками розташування кабелю і похибками визначення його лінійних розмірів та температури окремих ділянок. Запропоновані методи компенсації впливу розфокусування на результати моніторингу кабелю. Розроблений алгоритм вимірювання, що дозволяє забезпечити необхідну точність визначення параметрів кабелю.

Ключові слова: контактний кабель, моніторинг, проєкційна система, радіометр, похибка вимірювань.

УДК 621.378.525:535.8

АНАЛІЗ СИГНАЛУ ЛАЗЕРНОГО ДОППЛЕРІВСЬКОГО ВИМІРЮВАЧА ШВИДКОСТІ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ РОЗСІЯННЯ

*Дивнич В.М.
ДП «ДержККБ«ЛУЧ», м.Київ, Україна
E-mail: divnvm@gmail.com*

Найбільше застосування в практиці аерогідродинамічного експерименту

знайшли лазерні доплерівські вимірювачі (ЛДВШ), які побудовані за диференціальною схемою. Для такої схеми на основі теорії розсіяння Г.А. Мі. проведений аналіз впливу на глибину модуляції доплерівського сигналу ступеня узгодження розсіяних хвиль за інтенсивністю та за станом поляризації. Зміна глибини модуляції сигналу визначалась в залежності від діаметру монодисперсних мікрочастинок, кута між лазерними променями, величини кутової апертури приймальної оптики та кута між електричними векторами лазерних променів.

Наведені рекомендації по підвищенню глибини модуляції та відношення сигнал/завада.

Розглянуто також вплив фази «елементарних» доплерівських сигналів, що утворюються під час приймання розсіяного випромінювання в малій кутовій апертурі. Визначено, що ступінь фазового узгодження таких сигналів суттєво змінюється зі зміною діаметру мікрочастинки. Використовуючи особливості формування сигналу ЛДВШ, можна проводити вимірювання діаметру сферичних мікрочастинок, наприклад, аерозолів. Для певного набору діаметрів мікрочастинок амплітуда змінної складової сигналу ЛДВШ дорівнює нулю за рахунок того, що в межах круглої апертурної діафрагми є зони, сигнали від яких знаходяться в протифазі. Ці зони мають вигляд кілець [1]. Так як величина постійної складової сигналу ЛДВШ однозначно пов'язана з діаметром мікрочастинки, для якої амплітуда доплерівського сигналу дорівнює нулю, то можна визначити діаметр мікрочастинки.

Запропонована структурна схема лічильника аерозолів на основі диференціальної схеми ЛДВШ. В ній вихідний сигнал фотоприймача одночасно поступає на амплітудний детектор, де виділяється постійна складова сигналу та на смуговий фільтр, на виході якого утворюється змінна доплерівська складова. Коли доплерівська складова сигналу дорівнює нулю, то електронний ключ відкривається і постійна складова надходить до АЦП. Дані з АЦП поступають до мікропроцесора, де запрограмовані довідкові дані відповідності між діаметром аерозолу та постійною складовою сигналу ЛДВШ.

Ключові слова: лазер, доплерівський, вимірювання, розсіяння, аерозоль.

Література

1. Дивнич В.М. Підвищення глибини модуляції лазерного доплерівського анемометра // Збірник тез доповідей XIV Міжнародної науково-технічної конференції «Приладобудування: стан і перспективи», м. Київ, ПФФ, НТУУ «КПІ». – 2015. - С. 54-55.