

## НАУКОВІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИРОБНИЦТВА ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ

УДК 621.757

### ЮСТУВАННЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ОПФ ОБ'ЄКТИВІВ

<sup>1)</sup>Овчар М. І., <sup>1)</sup>Гураль Т. І., <sup>2)</sup>Кучеренко О. К., <sup>1)</sup>Казенне підприємство "ЦКБ "Арсенал", м. Київ, Україна, <sup>2)</sup>Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". м. Київ, Україна

*Розглядається методика юстувань оптико-механічної частини установки для вимірювання оптичної передавальної функції (ОПФ) об'єктивів. Обґрунтовуються вимоги до точності юстувань та розглядається принцип дії контрольно-юстувальних засобів*

#### Вступ

Відомо, що із загального обсягу робіт по розробці оптичних приладів та спеціалізованих стендів на складання та юстування витрачається більш ніж 50 % [1]. Це питання особливо загострюється в тому випадку, коли необхідно створити нестандартизовану установку, яка повинна в повній мірі задовольняти вимогам точності та метрологічної атестації. Саме до таких установок відноситься стенд для вимірювання ОПФ об'єктивів.

Найбільш перспективною схемою оптико – механічної частини установки є схема з використанням позаосьового коліматору з дзеркальним параболічним об'єктивом. Її переваги полягають в універсальності, щодо номенклатури об'єктивів, які випробуються, покращенні оптичних характеристик потоку на виході об'єктиву коліматору та ін. Одночасно треба відзначити, що, незважаючи на специфіку юстувальних робіт, яких потребує конструкція установки для вимірювання ОПФ, запропоновані у статті методики можуть бути використані розробниками різноманітної контрольно – юстувальної апаратури, які у своїй практиці стикаються з подібними питаннями. Тому досвід, отриманий нами, може бути корисним для багатьох фахівців, які працюють у цій галузі.

#### Постановка завдання

Специфіка юстувальних робіт полягає в тому, що обсяг та вимоги до точності контрольно – юстувальних засобів цілком залежать від оптичної схеми та вимог до точності установки, що підлягає юстуванню. З огляду на це, важко розробити єдину методику для юстування різних типів оптичних приладів, або автоматизувати процеси юстувальних робіт. Винятком може бути випадок, коли розроблюється оптичний прилад з невисокими вимогами до точності, і при його виготовленні використовується метод багатофакторної оптимізації точностного розрахунку [2]. У цьому разі за допомогою комп'ютера можна розрахувати і оптимізувати допуски на всі елементи конструкції, досягти повної взаємозамінності вузлів, складальних одиниць і з'єднань і тим самим мінімізувати, або пов-

ністю автоматизувати операції юстувань. При високих вимогах до точності приладу цей метод може привести до суттєвого підвищення ціни приладу, або навіть до того, що розраховані допуски не зможуть бути забезпечені на сучасному технологічному устаткуванні. В установці для вимірювання ОПФ об'єктів деформації хвильового фронту на виході коліматора не повинні перевищувати  $\lambda/4$ , а це накладає такі вимоги до точності взаємного позиціонування вузлів установки, коли юстування стає неминучим.

Оптична схема установки приведена на рис. 1.

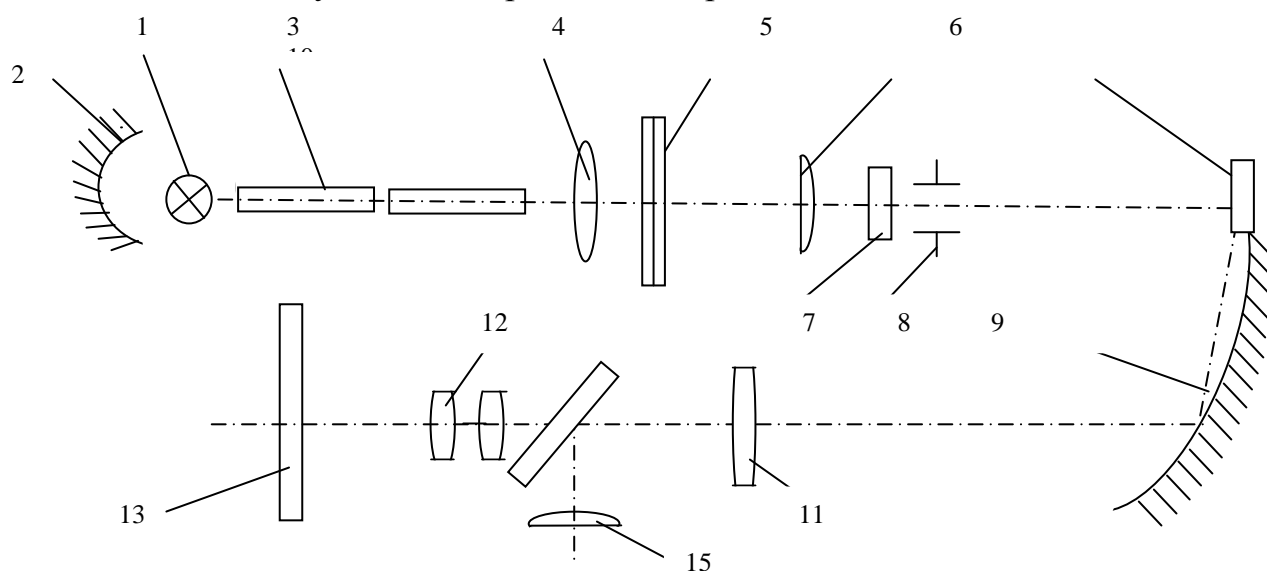


Рисунок 1-Оптична схема установки для вимірювання ОПФ

Установку виконано на спеціально виготовленій оптичній лаві, параметри якої узгодженні з характеристиками об'єктів, що випробуються. Випромінююче тіло накали галогенної лампи 1 фокусується за допомогою еліптичного відбивача 2 на вхідний торець освітлювального джгута 3. Конденсор 4 формує на виході паралельний пучок променів, в якому розташований блок змінних інтерференційних фільтрів 5. Конденсор 6 через розсіювальне скло 7 освітлює щілинну діафрагму 8, похибка розкриття щілини у якій становить 1 мкм. Діафрагма 8 встановлена у фокальній площині позаосьового дзеркального параболічного об'єктиву 9. Об'єktiv має фокусну відстань  $f' = 3500$  мм і відносний отвір  $D/f \approx 1/8$ . Поряд з параболічним дзеркалом розташоване технологічне дзеркало 10, яке визначає положення центра параболоїда обертання. Об'єktiv 11, що випробується, встановлюється у паралельному пучку променів і будує зображення щілинної діафрагми у своїй фокальній площині. Це зображення за допомогою мікрооб'єктиву 12 переноситься в площину ПЗЗ лінійки 13. В установці використовується змінні мікрооб'єктиви збільшенням  $20\times$ ,  $40\times$ ,  $75\times$ . Для попереднього юстування використовується візуальний канал, який складається з відкидного дзеркала 14 і окуляра 15.

Мета юстування оптичної системи установки полягає в тому, щоб знайти правильне взаємоположення окремих вузлів і після їх закріплення отримати

високої якості зображення щілинної діафрагми в площині ПЗЗ лінійки. Для досягнення цієї мети, юстувальну задачу можна сформулювати наступним чином:

- 1) оптична вісь позаосьового параболічного дзеркала, яке виконує функції коліматора, повинна співпадати з позначкою на технологічному дзеркалі та бути паралельною нормалі до площини цього дзеркала;
- 2) оптична вісь коліматору повинна бути паралельною направляючій оптичної лави установки;
- 3) площина щілинної діафрагми повинна співпадати з фокальною площиною коліматорного об'єктиву, а її центр з точкою фокуса;
- 4) площина чутливих елементів лінійки ПЗЗ повинна співпадати з площиною зображення мікрооб'єктиву, тобто не допускаються її продовжні та кутові зсуви відносно цієї площини, а мікрооб'єктив фотоприймального вузла повинен забезпечити номінальне значення збільшення.

### **Визначення вимог до точності юстувань і методика юстування**

Будемо розглядати питання юстувань оптичної системи установки в послідовності, яка визначається поставленими юстувальними задачами.

1. Базування позаосьового параболічного дзеркала відносно базових точок та напрямків технологічного дзеркала.

Слід відзначити, що положення оптичної осі параболоїда у просторі нематеріалізовано і наперед невідомо. Для усунення цієї хиби в конструкції вузла кріплення параболоїда передбачена наявність технологічного дзеркала з перехрестям, що умовно позначає точку перетину оптичної осі параболоїду з його вершиною. Задача юстування в цьому випадку полягає в усуненні поперечних і кутових децентрувань параболоїда відносно конструкторських баз, якими є матеріалізоване перехрестя на поверхні технологічного дзеркала та сама площина цього дзеркала, положення нормалі до якого може бути визначене автоколімаційним методом.

Вимоги до точності вказаних юстувань відрізняються. Допуск на поперечний зсув вузлової точки параболоїда відносно перехрестя на технологічному дзеркалі визначається з тієї умови, що якість зображення поблизу вісі і на відстані до декількох міліметрів мало відрізняється від якості зображення на осі. Тому допуск на поперечне децентрування відносно широкій, може складати декілька десятих долей міліметра і витримується конструктивним виконанням посадкових місць в оправках технологічного дзеркала і параболоїда. Що стосується кутових децентрувань, які проявляються в несуміщенні оптичної осі параболоїду та нормалі до площини технологічного дзеркала, то вимоги до них значно жорсткіші. Це обумовлено тим, що при нахилі осі параболоїда відносно осі об'єктиву, що випробовується, виникає поперечний зсув зображення щілинної діафрагми відносно центру лінійки ПЗЗ. Виходячи з конструктивних параметрів елементів установки, припустиме кутове децентрування може дорівнювати:

$$\alpha' = \frac{0,5 \cdot l \cdot 3440}{f'_{\text{в.}} \cdot \beta_{\text{м.о.}}},$$

де  $l$  – довжина лінійки ПЗЗ;  $f'_e$  – фокусна відстань об'єктиву, що випробується;  $\beta_{м.о.}$  – збільшення мікрооб'єктиву.

Для числового розрахунку приймемо:  $l = 20$  мм;  $f'_e = 800$  мм;  $\beta_{м.о.} = 75^x$ . Тоді отримаємо  $\alpha' = 0,6'$ .

Якщо прийняти до уваги, що при такому кутовому децентруванні неминуче виникає потреба юстувань положення ПЗЗ лінійки в процесі вимірювань, то можна дійти висновку, що отримане значення  $\alpha'$  необхідно зменшувати в  $2 \div 3$  рази.

Для приведення кутового децентрування до необхідної межі було запропоновано скористатися інтерферометром ІКД – Р, що використовує схему Фізо.

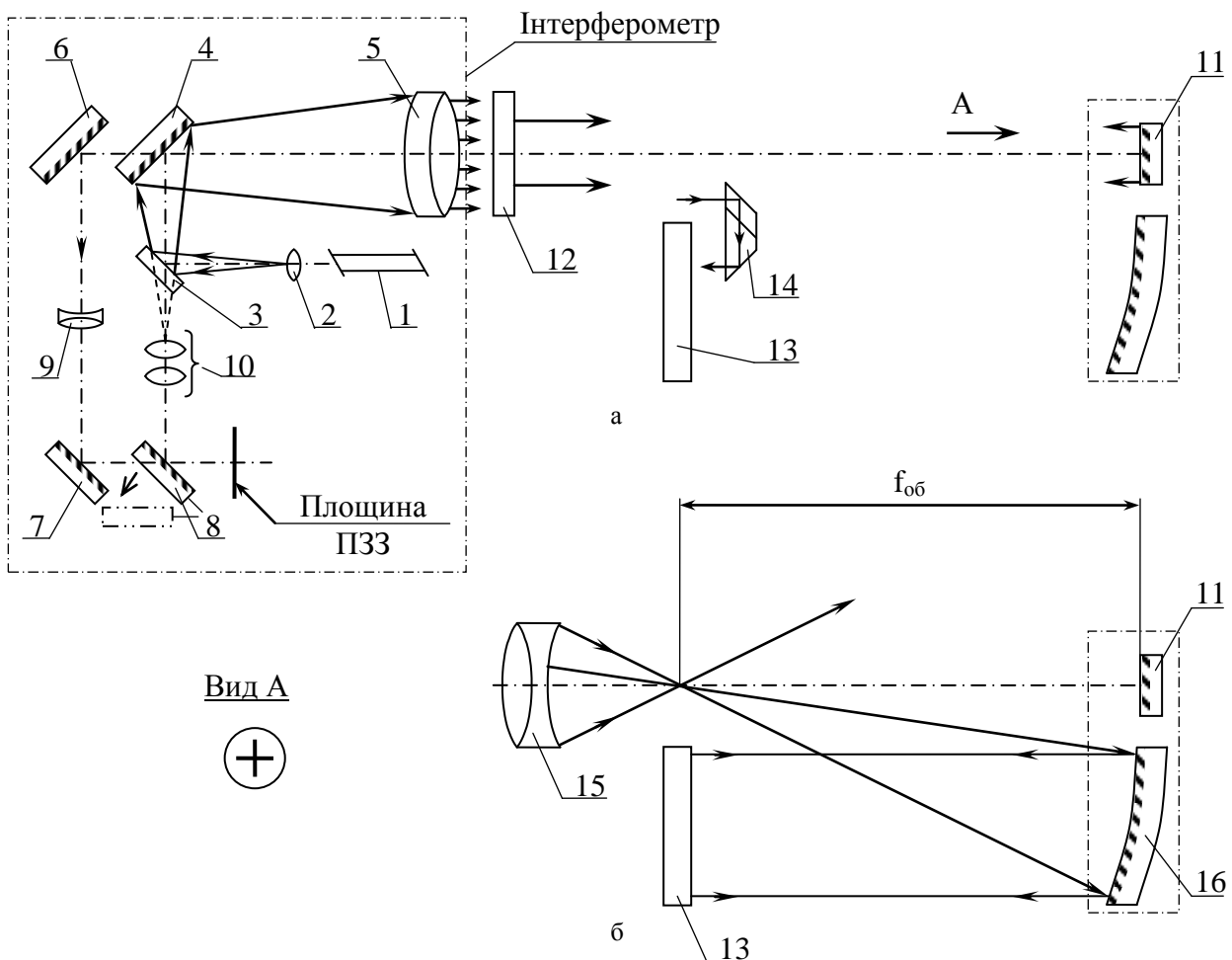


Рисунок 2 – Схема юстувань позаосьового параболічного дзеркала

Юстування проводиться у два етапи, які пояснюють схеми, наведені на рис.2. Інтерферометр ІКД – Р містить стабілізований лазер 1 (ЛГН – 303) (рис. 2а), мікрооб'єктив 2, напівпрозорі дзеркала 3,4, об'єктив 5, нерухомі дзеркала 6,7 і відкидне дзеркало 8. У каналі настроювання встановлений об'єктив 9, що забезпечує побудову точки фокусування об'єктива 5 в площину фотоприймача та об'єктив 10, встановлений в каналі вимірювання і забезпечуючий побудову зображення інтерференційної картини в тій же площині при введеному в хід променів дзеркалі 8. Вузол параболоїда 16 разом з технологічним дзеркалом 11

та елементами юстування встановлюють перед інтерферометром таким чином, щоб центр перехрестя на технологічному дзеркалі був суміщений з оптичною віссю інтерферометра. Момент суміщення спостерігається на екрані монітору інтерферометра. Продовжне положення цього вузла визначається відрізком, що дорівнює сумі фокусних відстаней параболоїда та еталонного об'єктиву 15 (рис. 2б), що застосовується на наступному етапі юстування. Для подальшого юстування використовується дзеркальний відбивач 13 та призма БкР –  $180^\circ$  14. Ці елементи встановлюються перед параболоїдом як показано на рис. 2а. Спостерігаючи на моніторі інтерферометра інтерференційні картини, що створилися внаслідок відбиття променів від еталонного дзеркала 12, а також технологічного дзеркала 11 та дзеркального відбивача 13 за допомогою відповідних юстувань встановлюють їх площини взаємопаралельно. Наступний етап юстувань пояснює рис. 2б. На цьому етапі використовується той самий інтерферометр, замість плоского еталонного дзеркала 12 встановлюється еталонний об'єктив 15 і призма БкР –  $180^\circ$  виводиться із ходу променів. За допомогою каналу настроювання проводиться попереднє юстування кутового положення параболоїду 16, коли він працює у режимі автоколімації з дзеркальним відбивачем 13. Це юстування виконується шляхом суміщення точок фокусування еталонного об'єктиву 15 та параболоїду 16. Більш точно встановлюють положення параболоїду, спостерігаючи інтерференційну картину на моніторі інтерферометра при роботі вимірювального каналу. Ця картина створюється внаслідок інтерференції променів відбитих від поверхонь еталонного об'єктиву і параболоїда. Таким чином закінчується перший етап юстувань, що полягає в точному базуванні параболоїда відносно площини технологічного дзеркала.

2. Базування оптичної вісі параболоїду відносно направляючої оптичної лави установки

Базування оптичної вісі параболоїду відносно направляючої оптичної лави установки ґрунтується на взаємній прив'язці вузла параболоїду і об'єктивотримача, який слугує базою кріплення об'єктивів, що випробуються на установці. Ці юстування проводяться за допомогою візуального автоколіматору АК-02У та плоскопаралельної пластинки. Під час юстувань спостерігають автоколімаційні зображення сітки автоколіматору при відбиттях від поверхонь технологічного дзеркала і плоскопаралельної пластинки, яка прикладена до торця оправи об'єктивотримача. Під час юстувань змінюється кутове положення вузла об'єктиву коліматора за допомогою юстувальних зсувів.

3. Юстування щілинної діафрагми коліматора

При юстуванні треба забезпечити центрування та фокусування щілинної діафрагми коліматора. Позаяк вимоги до центрування діафрагми знаходяться в межах десятих долей міліметра, вимоги до її фокусування більш жорсткі та визначаються припустимими деформаціями хвильового фронту на виході об'єктива коліматора. Якщо прийняти, що допустима деформація хвильового фронту на виході об'єктива коліматора згідно критерію Релея складає  $\lambda/4$ , то

припустимо розфокусування щілинної діафрагми визначається за формулою [3]:

$$\Delta Z = \frac{\lambda}{2 \cdot \sin^2 \sigma'} \text{ (мкм)},$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі, на якій проводяться вимірювання;  $\sigma'$  – апертурний кут об'єктива коліматора.

Для орієнтовної числової оцінки приймемо  $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$ ;  $\sin \sigma' \approx 0,06$ . Тоді отримаємо  $\Delta Z \approx 70 \text{ мкм}$ .

Методику юстування щілинної діафрагми пояснюють схеми, що наведені на рис. 3.

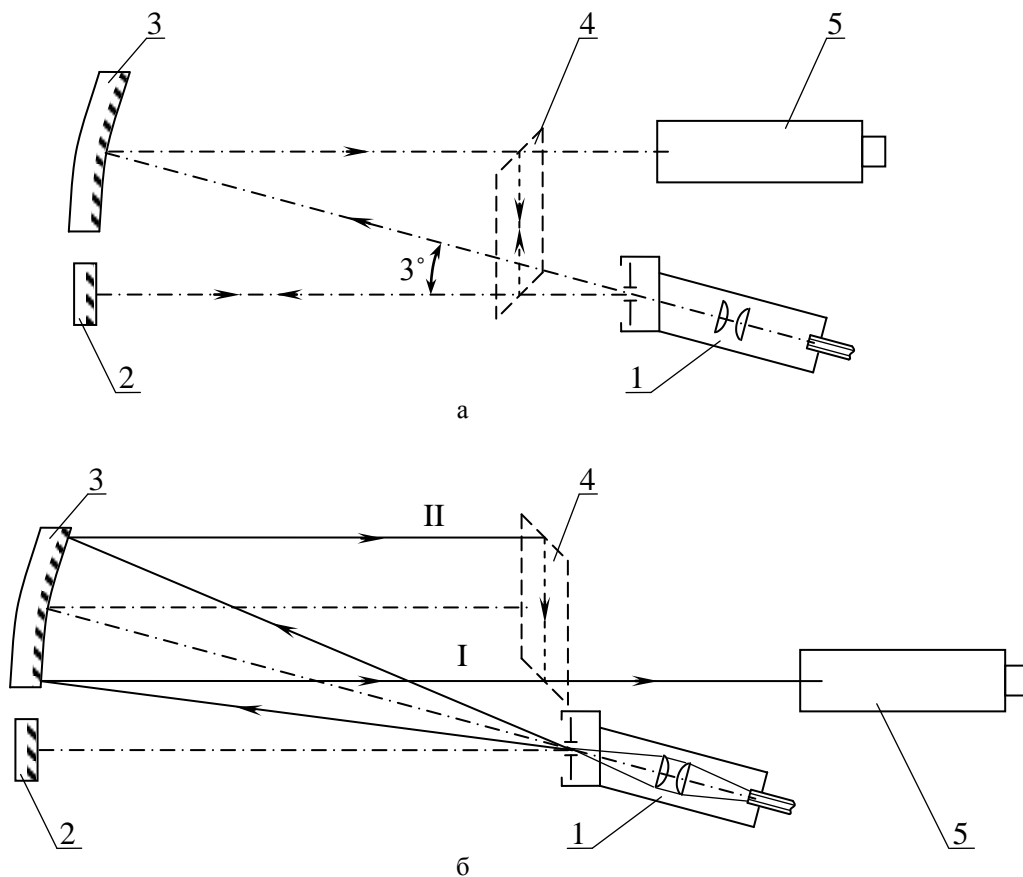


Рисунок 3 – Схема юстувань щілинної діафрагми

На етапі центрування здійснюється прив'язка автоколіматора 5 АК–02У через ромб – призму 4 до поверхні технологічного дзеркала 2. При цьому забезпечують співпадання автоколімаційного зображення сітки автоколіматора з центром вимірювальної шкали. Потім ромб – призму виводять із ходу променів і спостерігають положення зображення діафрагми освітлювача 1, що побудоване об'єктивами коліматору 3 та автоколіматору 5 в площині вимірювальної шкали. Якщо зображення щілинної діафрагми не співпадає з центром вимірювальної шкали, то здійснюють її центрування. Для вирішення проблеми фокусування щілинної діафрагми користуються методом побудови двох її зображень, що створені локальними пучками променів, які відбиті від крайових

зон параболічного об'єктиву. Схема фокусування приведена на рис. 3б. Як видно з рисунку, локальні пучки променів I і II утворюються при введенні в поле зору автоколімаційної зорової труби 5, ромб – призми 4, яка суміщує пучки I і II, що сформовані об'єктивом коліматора. Зсув щілинної діафрагми відносно фокальної площини об'єктива коліматора визначається співвідношенням [4] :

$$\Delta Z = \frac{2 \cdot f_{\kappa}'^2 \cdot a}{B \cdot f_{a.\kappa}'},$$

де  $f_{\kappa}'$  – фокусна відстань об'єктива коліматора;  $B$  – базовий розмір ромб – призми;  $a$  – відстань між зображеннями щілинної діафрагми в площині вимірювальної шкали автоколіматора;  $f_{a.\kappa}'$  – фокусна відстань об'єктива автоколіматора.

Під час фокусування здійснюють продовжний зсув щілинної діафрагми доти, доки обидва її зображення в площині вимірювальної шкали автоколіматора не співпадуть.

#### 4. Юстування фотоприймального вузла

Юстування фотоприймального вузла полягає в суміщенні оптичної осі мікрооб'єктиву з віссю світлової зони коліматора, а також у точному позиціонуванні мікрооб'єктива вздовж оптичної осі установки для забезпечення номінального значення його збільшення. Для визначення положення осі світлової зони використовується зразковий об'єктив, похибка установки якого у об'єктивотримач не перевищує  $\pm 1$  кут хв. Зображення, яке створює зразковий об'єктив, слугує в якості репера для центрування мікрооб'єктива. Паралельність посадочної площини мікрооб'єктива, площині установки лінійки ПЗЗ і посадочній площині об'єктивотримача перевіряється за допомогою автоколіматора АК – 02 У.

Для фокусування мікрооб'єктиву використовується тест – об'єкт, виконаний у вигляді двох щілин з відомою відстанню  $b$  між ними. Тест – об'єкт фокусується мікрооб'єктивом на ПЗЗ лінійку. При отриманні різкого зображення на екрані монітора визначають відстань  $b'$  між цими зображеннями, користуючись програмою визначення оптичної передавальної функції. Дійсне збільшення мікрооб'єктива розраховується за співвідношенням  $\beta = b'/b$ . Якщо отримане значення збільшення не збігається з номінальним, то, в залежності від отриманого результату, проводиться зсув мікрооб'єктиву в тому, чи іншому напрямках. Встановлення лінійки ПЗЗ в площину зображення мікрооб'єктиву контролюється по максимуму сигналу, що визначає вигляд функції розсіювання об'єктиву.

#### Висновки

Проведена дослідницька робота дозволила створити ефективну методику юстування оптико – механічної частини установки для вимірювання ОПФ широкої номенклатури об'єктів. Цю методику було доведено до практичної реалізації з використанням інтерферометра ІКД – Р, автоколіматора АК – 02У та інших контрольно – юстувальних засобів. Після проведених юстувань установка вимірювання ОПФ була метрологічно атестована, і на ній було випробовано низку об'єктів з різними конструктивними параметрами. Порівняння

результатів, отриманих на установці, з іншими методами вимірювань засвідчило, що похибка вимірювань є меншою за 5%. Це задовольняє вимогам, які пред'являються до подібних установок.

Подальші роботи у цьому напрямку направлені на розширення спектрального діапазону роботи установки у бік інфрачервоної частини спектру. Крім того планується автоматизувати окремі юстивальні операції, що пов'язані з фокусуванням фотоприймального пристрою установки. Розроблюється програма керування системою автоматичного фокусування, яка буде органічно поєднуватись з основною програмою визначення ОПФ об'єктів.

#### **Література**

1. Сухопаров С. А. Многофакторная оптимизация точностного расчета оптических приборов//Оптический журнал. – 1994. – №9 – С.35 – 38.
2. Сухопаров С. А., Иванов К.А. Компьютерная автоматизированная юстировка оптических приборов//Оптический журнал. – 2001. – №1 – С. 76 – 78.
3. Шульман М.Я. Автоматическая фокусировка оптических систем. – Л.: Машиностроение, 1990. – 224с.
4. Ельников Н. Е., Дитев А. Ф., Юрусов И. К. Сборка и юстировка оптико – механических приборов. – М.: Машиностроение, 1974.- 348с.

Овчар Н.И., Гураль Т.И., Кучеренко О.К. **Юстировка установки для измерения ОПФ объективов.**

Рассматривается методика юстировки оптико-механической части установки для измерения оптической передаточной функции (ОПФ) объективов. Обосновываются требования к точности юстировки и рассматривается принцип действия контрольно-юстировочных приспособлений

N.Ovchar, T.Gural, O.Kucherenko **The adjustment of the equipment for measurement of the OTF-objectives.**

The methodology of adjustment of the optico-mechanical part of the Optic Transmission Function (OTF) equipment of the objectives is considered in this article. The requirements of precision of the adjustment are justified and the principle of functioning of the control adjustment of the equipment is considered.

*Надійшла до редакції  
11 травня 2004 року*

УДК 621:538.3

## **МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРІЇ РУХУ ПОТОКІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

<sup>1)</sup>Клочко Т.Р., <sup>2)</sup>Вайнтрауб М.А., <sup>1)</sup>Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, м.Київ, Україна, <sup>2)</sup>Ліцей “Поділ”, м.Київ, Україна

У статті йдеться про математичне моделювання геометрії рухливих потоків випромінювання, що сприймається чутником, з метою подальшої їх оптимізації та прогнозування енергетики поглинення електромагнітного випромінювання.