

## ПРИЛАДИ. РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 531.383

О.М. Безвесільна, д.т.н., проф.

С. С. Ткаченко, аспір.

Національний технічний університет України „КПІ”

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО АВТОКОЛІМАТОРА ЗА ДОПОМОГОЮ СТАНДАРТНОЇ ПРИЗМИ

*В статті наведено експериментальне оцінювання фотоелектричного автоколіматора за допомогою стандартної призми. Показано оцінювання похибки із заданим ексцентриситетом, різницю похибки з часом.*

**Постановка задачі та її актуальність.** При вимірюванні кутів за допомогою високоточного вимірювача кута на основі кільцевого лазера необхідно оцінити вплив на похибку вимірювання параметрів основних систем. Одним із вимірювачів є фотоелектричний автоколіматор [1].

Неточність встановлення контрольованої деталі (призми) характеризується її ексцентриситетом і відхиленнями у вертикальному напрямку вгору або вниз відносно оптичної осі автоколіматора [3].

При проведенні вимірювань дуже важливо знати числові значення складових похибки, обумовлені неточністю встановлення призми, і звертати увагу на ті з них, які вносять найбільший вклад у загальну похибку вимірювання. Це дасть змогу підвищити точність вимірювань і зменшити час, тому що відпаде необхідність контролю параметрів встановлення призми, що не здійснюють суттєвого впливу на похибку вимірювання.

**Аналіз публікацій та літератури** [1–3] показав, що експериментальне оцінювання складової похибки вимірювання кутів, зумовлене параметрами автоколіматора, може бути проведене, наприклад, за допомогою інтерферометра та інших. Але такий контроль потребує використання додаткової апаратури.

**Мета статті.** Експериментально оцінити похибку фотоелектричного автоколіматора за допомогою стандартної призми.

**Викладення основної частини.** Оцінювання похибки, обумовленої автоколіматором, проводилось за допомогою кварцової 24-гранної призми, виготовленої згідно з вимогами ДСТУ 2875-88 класу точності „0” (розмір граней 18x24 мм, 24 мм – висота) [4].

Спочатку призма встановлювалась у центрі світлового діаметра, коли візирна вісь автоколіматора знаходилась у площині нормалей до центрів граней призми (положення 1 рис. 1). У такому положенні проводились вимірювання з осередненням за 17 прийомів всіх її кутів  $\varphi_{i,x} = 0$  при відліку від першої грані (де перший індекс  $i$  – номер кута призми, другий індекс – вісь, за якою здійснено зміщення). У вимірювальному положенні відбите від граней призми випромінювання займе одне й те ж положення відносно світлового діаметра об’єктива автоколіматора (рис. 2).

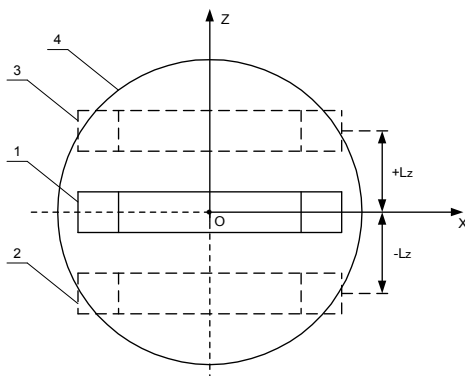


Рис. 1. Розміщення призми відносно світлового діаметра автоколіматора; 1, 2, 3 – положення призми; 4 – світловий діаметр

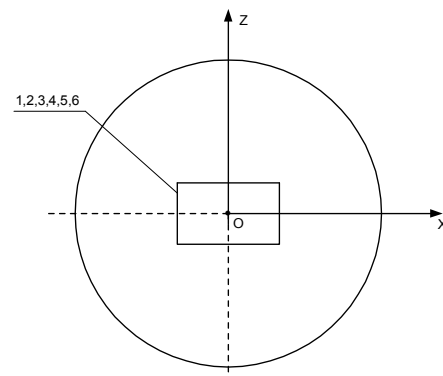


Рис. 2. Положення граней призми при вимірюваннях без ексцентриситету

Потім призмі послідовно задавали ексцентриситет 10 мм у чотирьох взаємно перпендикулярних напрямках (рис. 3).

При ексцентриситеті відбите від граней призми випромінювання переміщується вздовж осі  $x$  по освітленому діаметру об’єктива автоколіматора. На рис. 4 наведено положення граней призми при

ексцентриситеті  $-l_x$ . Напрямок переміщення граней призми вказано стрілками, а цифрами – номери граней.

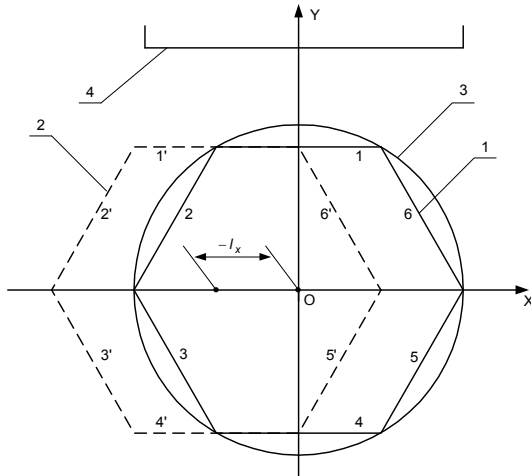


Рис. 3. Встановлення призми в нормальне положення 1 та з ексцентриситетом 2 (3 – предметний стіл, 4 – автоколіматор)

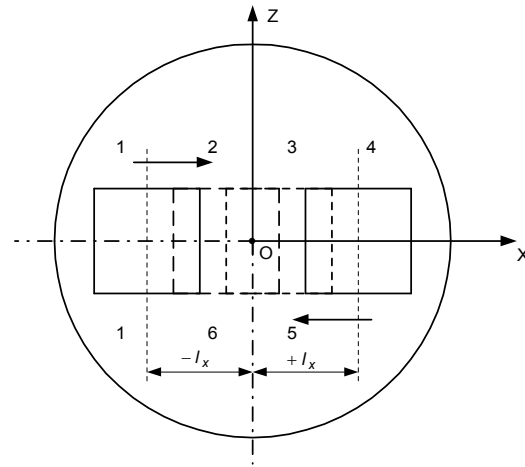


Рис. 4. Положення граней призми при вимірюваннях з ексцентриситетом

Для кожного з положень призми з ексцентриситетом проводили вимірювання її кутів з осередненням за 17 прийомів при відліку від базової грані  $\varphi_{i,l} = -10$ ,  $\varphi_{i,l} = 10$ ,  $\varphi_{i,y} = -10$ ,  $\varphi_{i,y} = 10$ , а потім обчислювали різницю кутів, отриманих з ексцентриситетом і без нього.

Ця різниця зображена графічно (рис. 5). Графіки можуть бути описані виразом (1).

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_{i,x} = -10 &= \varphi_{i,x} = -10 - \varphi_{i,x} = 0; \\ \Delta\varphi_{i,x} = 10 &= \varphi_{i,x} = 10 - \varphi_{i,x} = 0; \\ \Delta\varphi_{i,y} = -10 &= \varphi_{i,y} = -10 - \varphi_{i,y} = 0; \\ \Delta\varphi_{i,y} = 10 &= \varphi_{i,y} = 10 - \varphi_{i,y} = 0. \end{aligned} \tag{1}$$

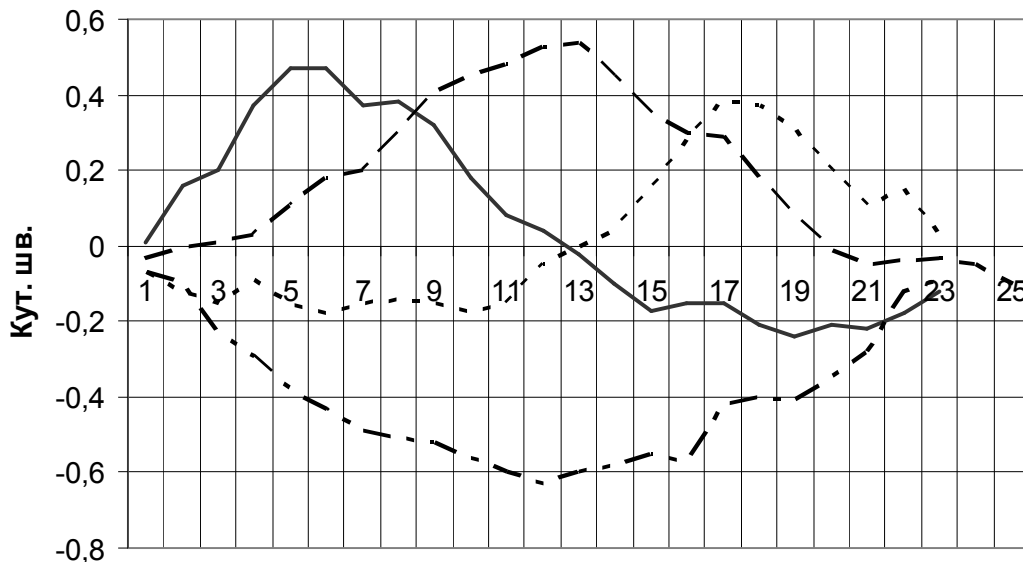


Рис. 5. Різниця кутів при вимірюваннях в нормальному положенні і з ексцентриситетом 10 мм

Спотворення реальних кривих відносно виразу 1 є свідченням про локальні дефекти оптичної системи автоколіматора.

Відзначимо, що в залежності від напрямку ексцентриситету амплітуда похибки може змінюватися вдвічі, що є дуже важливим для практики.

Для оцінювання похибки при переміщенні відбитого від граней призми випромінювання по світловому діаметру об'єктива призма з предметним столом за допомогою перехідних кілець

встановлювалась по центру світлового діаметра (нормальне положення), потім опускалась у вертикальній площині на відстань  $l = 20$  мм ( $z = -20$  мм, положення 2 рис. 1) і піднімалась на таку ж відстань ( $z = 20$  мм, положення 3 рис. 1).

Вимірювання кутів проводилися у кожному положенні з осередненням за 17 прийомів, а потім обчислювалась різниця:

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_{i,z} = 20 = \varphi_{i,z} = 20 - \varphi_{i,z} = 0 \\ \Delta\varphi_{i,z} = -20 = \varphi_{i,z} = -20 - \varphi_{i,z} = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\varphi_{i,z} = 20$ ;  $\varphi_{i,z} = -20$ ;  $\varphi_{i,z} = 0$  – кути, виміряні при підйомі на  $z = 20$  мм, при зниженні на  $z = -20$  мм, а також у нормальному положенні відповідно.

Результати обчислень наведені на графіках (рис. 6), які показують, що переміщення призми вгору або вниз на відстань  $\pm 20$  мм практично не відзначається на результатах вимірювань (різниця знаходиться на рівні кутових шумів).

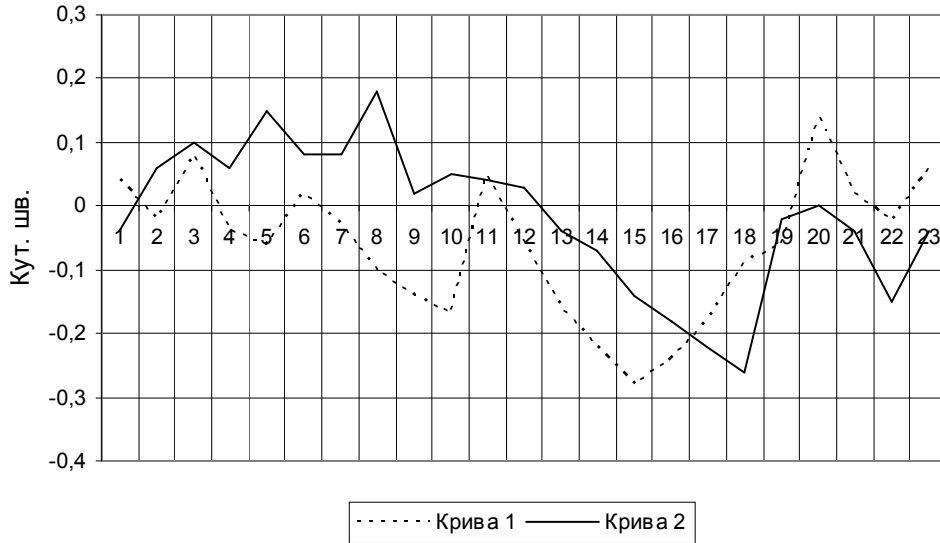


Рис. 6. Різниця кутів, отриманих при підйомі на +20 мм (крива 1) і на -20 мм (крива 2) відносно нормального положення

Для оцінки якості автоколіматора у різних перерізах по світловому діаметру призма встановлювалась в нормальне положення ( $x = 0, z = 0$ ), проводилися вимірювання її кутів з осередненням за 17 прийомів  $\varphi_{i,x} = 0, z = 0$ , потім задавали ексцентриситет 10 мм ( $x = -10$ ) і знову проводили вимірювання кутів  $\varphi_{i,x} = -10, z = 0$ . Після чого призму піднімали на  $l = 20$  мм ( $z = 20$ ), вимірювали її кути  $\varphi_{i,x} = 0, z = 20$  без ексцентриситету, а потім з ексцентриситетом і одержали кути  $\varphi_{i,x} = -10, z = 20$ .

Аналогічні вимірювання кутів  $\varphi_{i,x} = 0, z = 20, \varphi_{i,x} = -10, z = 20$  були проведені при опущеній призмі  $l = -20$  мм ( $z = -20$ ). Потім для кожного положення призми по осі  $z$  обчислювалась різниця:

$$\begin{aligned} \Delta\varphi_{i,x} = -10, z = 0 = \varphi_{i,x} = -10, z = 0 - \varphi_{i,x} = 0, z = 0, \\ \Delta\varphi_{i,x} = -10, z = 20 = \varphi_{i,x} = -10, z = 20 - \varphi_{i,x} = 0, z = 20, \\ \Delta\varphi_{i,x} = -10, z = -20 = \varphi_{i,x} = -10, z = -20 - \varphi_{i,x} = 0, z = -20. \end{aligned} \quad (3)$$

Результати обчислень для ексцентриситету 10 мм ( $x = -10$ ) наведені на рис. 7.

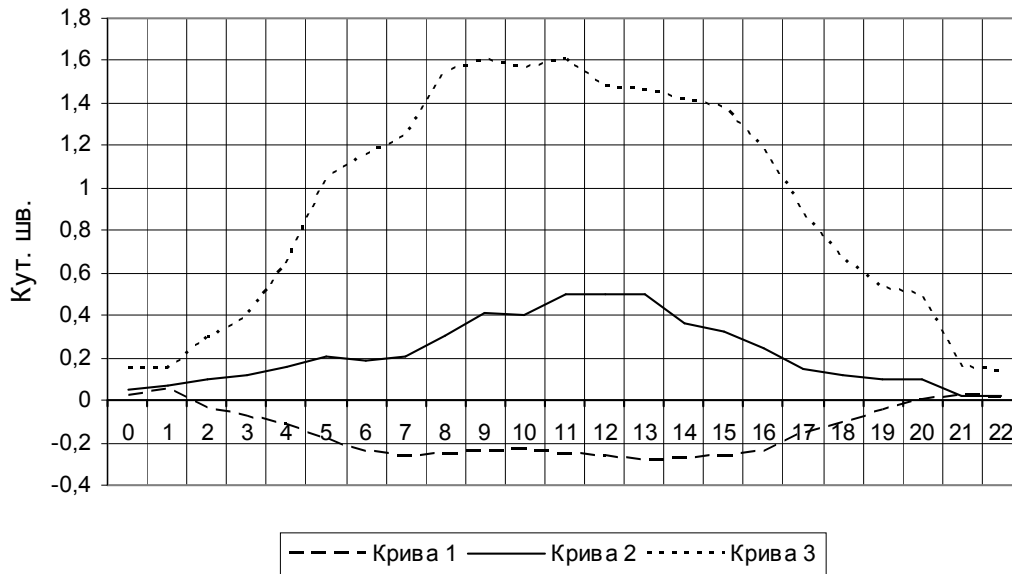


Рис. 7. Відхилення при ексцентриситеті призми на 10 мм з підйомом на 0 (крива 1), 20 (крива 2), 40 (крива 3) мм

Крива 3 має здебільшого від’ємний знак, а криві 1, 2 – додатний, що свідчить про те, що в нижній частині об’єктива випромінювання має „збіжність”, а у середній і верхній частинах – „розбіжність”. Це можливо, наприклад, у випадку, коли об’єктив автоколіматора нахилений відносно фокальної площини, причому вісь нахилу знаходиться посередині між нижнім і нормальним положенням при вимірюваннях.

На рис. 8 наведені результати при рівнях  $l = 0, 20, -20$  з ексцентриситетом 20 мм. При цьому похибка вимірювання порівняно з ексцентриситетом 10 мм зростає у центрі світлового діаметра з  $0,5''$  до  $2,56''$ . Таким чином похибка вимірювання при ексцентриситеті 10 мм на краю об’єктива в три рази більша, ніж у середній частині, а при ексцентриситеті  $-20$  мм – відповідно в два рази більша.

При візуальному контролі призма може бути встановлена з ексцентриситетом близько 0,5 мм. При цьому похибка вимірювання, обумовлена ексцентриситетом, буде не більше  $0,025''$ .

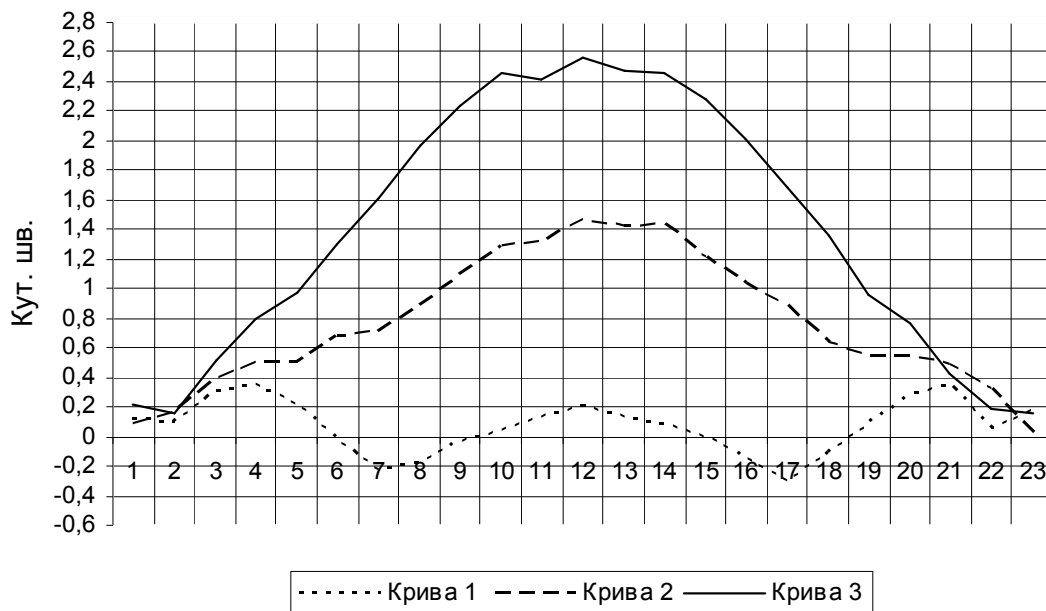


Рис. 8. Відхилення при ексцентриситеті призми на 20 мм з підйомом на 0 (крива 1), 20 (крива 2), 40 (крива 3) мм

При вимірюваннях велике значення має стабільність параметрів автоколіматора. Було проведено оцінювання стабільності роботи автоколіматора при безперервних вимірюваннях протягом 8 годин, а також від включення до включення. Для цього призма встановлювалась у нормальне положення, проводилися вимірювання кутів 17 прийомми. Результати вимірювань запам’ятовувалися. Потім призмі

задавали ексцентриситет  $-10$  мм і, без порушення положення, проводились багатократні вимірювання серіями по 17 прийомів. Після цього обчислювали різницю вимірювань між наступним і тим, що запам'ятовувалось першим, вимірюваннями.

На рис. 9 наведені деякі графіки при безперервному вимірюванні протягом 8 годин. Інтервал між кривими 10:05, 10:45; 11:20; 12:00 складають 40 хвилин. На куті 12 відхилення зростають з  $0,32''$  до максимального відхилення  $0,58''$ . Потім приблизно через дві з половиною години після початку вимірювання похибка стабілізується на рівні максимального відхилення  $0,43''$  (крива 12:51).

Таким чином протягом перших двох годин похибка збільшується на  $0,26''$ , а потім стабілізується на середньому рівні з максимальним відхиленням орієнтовно  $0,43''$ .

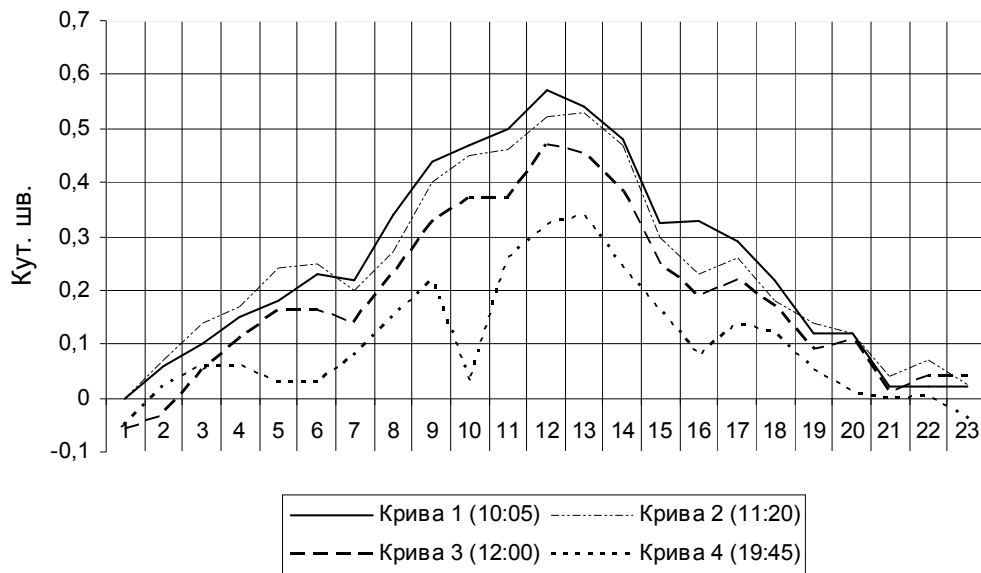


Рис. 9. Оцінювання дрейфу похибки автоколіматора протягом дня

У процесі досліджень в одній з реалізацій був зафіксований випадок дуже швидких змін параметрів оптичної системи автоколіматора гоніометра. На рис. 10 наведені чотири реалізації таких вимірювань. Вимірювання проводились кожні півгодини при безперервній роботі приладу. За цей час похибка на кути 12 змінилась з  $-0,03''$  до  $+0,32''$ , що свідчить про швидку перебудову параметрів автоколіматора.

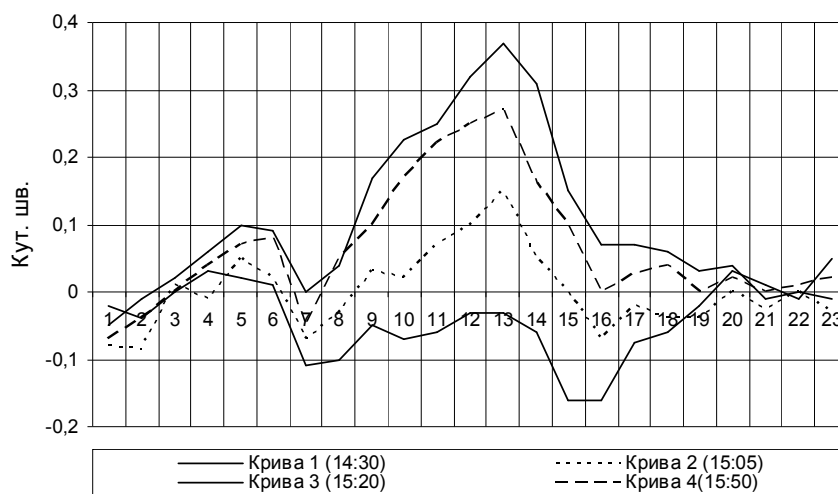


Рис. 10. Зміна з часом похибки, обумовленої ексцентриситетом

Для оцінювання параметрів автоколіматора від включення до включення вимірювання проводились протягом місяця при температурі  $+36^\circ$ ,  $+26^\circ$ ,  $+20^\circ$  як після включення, так і після прогріву приладу. На рис. 11 наведені найбільш характерні криві відхилень, які змінюються на кути 12 від  $-0,03''$  до  $+0,58''$  (крива 11:59). Максимальна різниця похибок складає  $0,61''$  і демонструє дуже великий розкид, що свідчить про значну нестабільність параметрів автоколіматора.

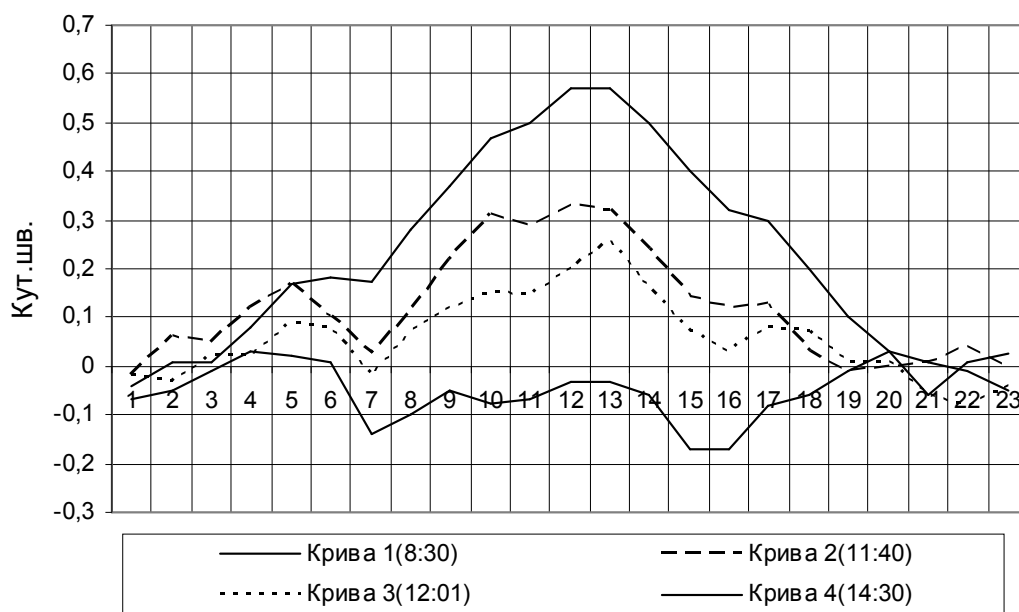


Рис. 11. Зміни різниці похибок з часом (кільце – 20 мм, ексцентриситет – 10 мм)

### Висновки.

1. Запропоновано оцінювати якість автоколіматора за допомогою багатогранної призми без використання спеціальної апаратури. Різниця кутів багатогранної призми, виміряних у нормальному положенні і з ексцентриситетом, дає можливість оцінити якість автоколіматора в горизонтальній площині. Такі ж вимірювання, проведені при переміщенні призми вгору або вниз відносно візирної осі, дозволяють оцінити якість в горизонтальних перерізах по всьому світловому діаметру об'єктива.

2. Встановлено, що форма кривої похибки близька до синусоїди з постійною складовою. В залежності від напрямку ексцентриситету при одному і тому ж його значенні амплітуда похибки може змінюватися вдвічі.

3. Показано, що при вимірюванні без ексцентриситету з установленням призми по висоті на  $\pm 20$  мм різниця виміряних кутів знаходиться на рівні шумів.

4. Встановлено, що при роботі протягом дня форма кривої залишається приблизно постійною, амплітуда за перші дві години змінилася з  $0,32''$  до  $0,58''$ , а потім стабілізувалася на рівні  $0,43''$ . При вимірюванні від включення до включення форма кривої і максимальне відхилення можуть різко змінюватися. Так зафіксовано зміну відхилення від  $-0,03''$  до  $+0,58''$ .

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Система углоизмерительная ГС1Л. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Украина. ЦКБ «Арсенал».
2. Афанасьев В.А. Оптические измерения: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1981. – 229 с., ил.
3. Оптические приборы в машиностроении: Справочник. – М.: Машиностроение, 1974. – 238 с.
4. ГОСТ 2875 «Меры плоского угла призматические». – Изд-во стандартов, 1988. – 9 с.

БЕЗВЕСІЛЬНА Олена Миколаївна – доктор технічних наук, професор кафедри приладобудування Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

- вимірювальні перетворювачі;
- гравіметрія;
- інформаційні системи.

Тел.: 044-236-09-26.

ТКАЧЕНКО Світлана Сергіївна – аспірантка кафедри приладобудування Національного технічного університету України "КПІ".

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційні системи;
- гоніометри.

Тел.: 044-236-09-26.

E-mail: [tkachenkoss@ukr.net](mailto:tkachenkoss@ukr.net)

Подано 10.04.2009

**Безвесільна О.М., Ткаченко С. С.** Експериментальне оцінювання фотоелектричного автоколіматора за допомогою стандартної призми

**Безвесильная Е.Н., Ткаченко С.С.** Экспериментальное оценивание фотоэлектрического автоколлиматора с помощью стандартной призмы

**Bezvesilna O.M., Tkachenko S.S.** Experimental estimation photo-electric autocollimator by means of a standard prism

УДК 531.383

**Експериментальное оценивание фотоэлектрического автоколлиматора с помощью стандартной призмы / Е.Н. Безвесильная, С.С. Ткаченко**

В статье приведено экспериментальное оценивание фотоэлектрического автоколлиматора с помощью стандартной призмы. Показано оценивание погрешности с заданным эксцентриситетом, разность погрешности со временем.

УДК 531.383

**Experimental estimation photo-electric autocollimator by means of a standard prism / O.M. Bezvesilna, S.S. Tkachenko**

In articles it is resulted experimental estimation photo-electric autocollimator by means of a standard prism. It is shown estimation to an error with set eccentricity, a difference of an error in due course.