

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК КІЛЬЦЕВОГО ЛАЗЕРА

В статті проаналізовано результати експериментальних досліджень основних параметрів, які впливають на характеристику кільцевого лазера. Розглянуто можливості зменшення впливу дрейфу масштабного коефіцієнта на похибку вимірювання.

In the paper there have been analyzed the experimental research results of the main parameters, influencing the ring laser characteristic. Considered the possibilities of decreasing the scaling coefficient drift influence on the measurement inaccuracy.

Стан проблеми. Одним з перспективних напрямків застосування газових КЛ є кутовимірювальні засоби. Вимоги до кутовимірювальних засобів, які застосовуються у кутовимірювальних приладах, багато в чому відрізняються від вимог, що висуваються до КЛ, які використовуються у навігації. А це вимагає розробки нових засобів та алгоритмів їх використання.

КЛ останнім часом почали широко застосовуватися, ведеться активний пошук галузей нетрадиційного використання приладів на їх основі. Наприклад, з використанням КЛ розроблено прилад для вимірювання евольвентного профілю лінії зуба зубчастих коліс [1], установка для відтворення лінійних прискорень [4] та ін. Втім у науковій літературі [1-11 та ін.] не зустрічаються результати експериментальних досліджень КЛ.

Мета статті: узагальнити результати, отримані при експериментальних дослідженнях кільцевого лазера.

Викладення основної частини. КЛ містить у собі кутову шкалу, що задається довжиною хвилі лазерного випромінювання. Це якісно інша кутова шкала, в якій відсутні помилки подільної машини. Застосування такої шкали дозволяє суттєво покращити параметри кутовимірювальних засобів, таких як точність, швидкодія, достовірність вимірювань. КЛ можуть застосовуватися у кутовимірювальних приладах різноманітного призначення.

КЛ, що досліджується, використовується в кутовимірювальній системі ГСІЛ, яка була розроблена та досліджена в ЦКБ „Арсенал” при участі кафедри приладобудування НТУУ „КПІ”.

При дослідженнях використовувалась система стабілізації периметра і система стабілізації потужності випромінювання КЛ. Система стабілізації периметра виконана екстремальною. На дзеркало з п'єзоперетворювачем подається моделюючий сигнал з частотою 11 кГц. За допомогою фазового детектора, на який подаються інформаційний і моделюючий сигнали, визначаються знак і величина розузгодження відносно кривої Доплера і на п'єзоперетворювач подається постійна напруга, повертаючи робочу точку в центр цієї кривої. Система стабілізації потужності випромінювання побудована за принципом порівняння електричного сигналу, отриманого від фотоприймача, на який подається один з променів КЛ, з опорною напругою. При розузгодженні відповідним чином регулюється струм накачки КЛ.

З інформаційних сигналів КЛ формуються імпульси з дискретністю квантування 180 електричних градусів, які потім підраховуються лічильниками.

Оцінювання масштабного коефіцієнта і зсуву нуля вихідної характеристики проводились таким чином. Контрольований КЛ з електронікою забезпечення режимів роботи встановлювався на поворотному пристрої, який мав можливість обертатися по чергово за і проти руху стрілки годинника.

Поворот поворотного пристрою на кут 2π реєструвався за допомогою нерухомого щільного фотоелектричного автоколіматора з фокусною відстанню 1000 мм і дзеркального відбивача, встановленого на рухомій частині поворотного пристрою.

Вимірювання проводились циклами, у яких після розгону поворотного пристрою визначалась кількість періодів сигналу КЛ за кожний з 5 обертів при обертанні в один бік і стільки ж у протилежний. За один оберт КЛ проти стрілки годинника на кут 2π на його виході отримують кількість періодів:

$$N_+ = KW_{t_+} + KW_3 \sin Y_{t_+} + F_0 t_+, \quad (1)$$

а при обертанні за годинниковою стрілкою:

$$N_- = KW_{t_-} - KW_3 \sin Y_{t_-} - F_0 t_-, \quad (2)$$

де K – масштабний коефіцієнт КЛ;

W , W_3 – кутова швидкість поворотного пристрою і Землі відповідно;

t_+ , t_- – час повороту поворотного пристрою на кут 2π при обертанні проти і за напрямком руху стрілки годинника відповідно;

Y – широта місця, де проводяться вимірювання;

F_0 – зсув нуля вихідної характеристики КЛ.

Вимірювання проводились при обертанні поворотного пристрою з кутовою швидкістю $W = 90$ град/с, широті місця вимірювання $Y = 50$ град. 27 хв., $t_+ = t_- = t = 4$.

Похибка визначення масштабного коефіцієнта залежить від точності роботи фотоелектричного автоколіматора, нестабільності швидкості обертання поворотного пристрою, дискретності квантування сигналу КЛ і т.д.

Для підвищення точності обчислювалось середнє значення кількості періодів сигналу КЛ \bar{N}_+ за 5 вимірювальних обертів поворотного пристрою при обертанні проти стрілки годинника (один півцикл), а потім \bar{N}_- за таку ж кількість вимірювальних обертів при обертанні у зворотний бік (другий півцикл). Два півцикли складають один цикл вимірювання.

Середні значення \bar{N}_+ і \bar{N}_- для кожного з 50 півциклів наведено на рис. 1.

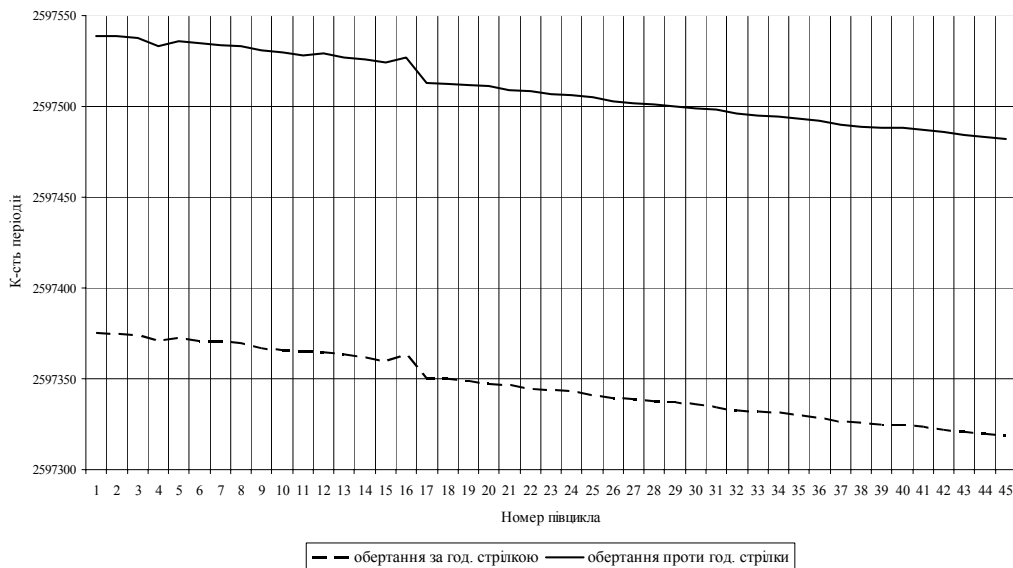


Рис. 1. Середні значення \bar{N}_+ та \bar{N}_- , виміряних в одному циклі

Масштабний коефіцієнт КЛ за кожний цикл вимірювання оцінювався відповідно виразу:

$$K = \frac{\bar{N}_+ + \bar{N}_-}{4\pi}. \quad (3)$$

На рисунку 2 наведено масштабний коефіцієнт за кожний з 50 циклів вимірювань. У проміжку між 16 і 17 циклами вимірювань відбувся скачок масштабного коефіцієнта.

Зміни масштабного коефіцієнта КЛ представляють собою лінійний дрейф, на який накладаються випадкові флуктуації. До і після скачка масштабного коефіцієнта його лінійний дрейф склав величину близько $b=0,013$ пер/с.

Похибка вимірювання кутів, обумовлена таким лінійним дрейфом масштабного коефіцієнта при $W = 90$ град/с не перевищує $0,01$ кут. с.

Стрибок масштабного коефіцієнта у процесі вимірювань призводить до збільшення похибки. Тому необхідні надійні засоби контролю підсистем приладу, в тому числі КЛ у процесі вимірювань. Для цього обчислюється різниця однойменних кутів, виміряних при обертанні у обидва боки. У випадку, коли різниця перевищує допустиме значення, вимірювання вважається недостовірним і виключається з подальшої обробки. Такий контроль простий у реалізації і досить ефективний. Він дозволяє реєструвати не тільки погіршення параметрів підсистем приладу, але й контролювати зовнішні впливи, наприклад недопустимі вібрації підлоги, на якій встановлений прилад, випадкові ударні дії та ін.

Для підвищення точності вимірювання кутів може бути збільшена швидкість обертання поворотного пристрою, а сукупна обробка декількох приймань вимірювань дає змогу оцінити дрейф масштабного коефіцієнта і за допомогою відповідних обчислень зменшити складову похибки, обумовлену цим дрейфом.

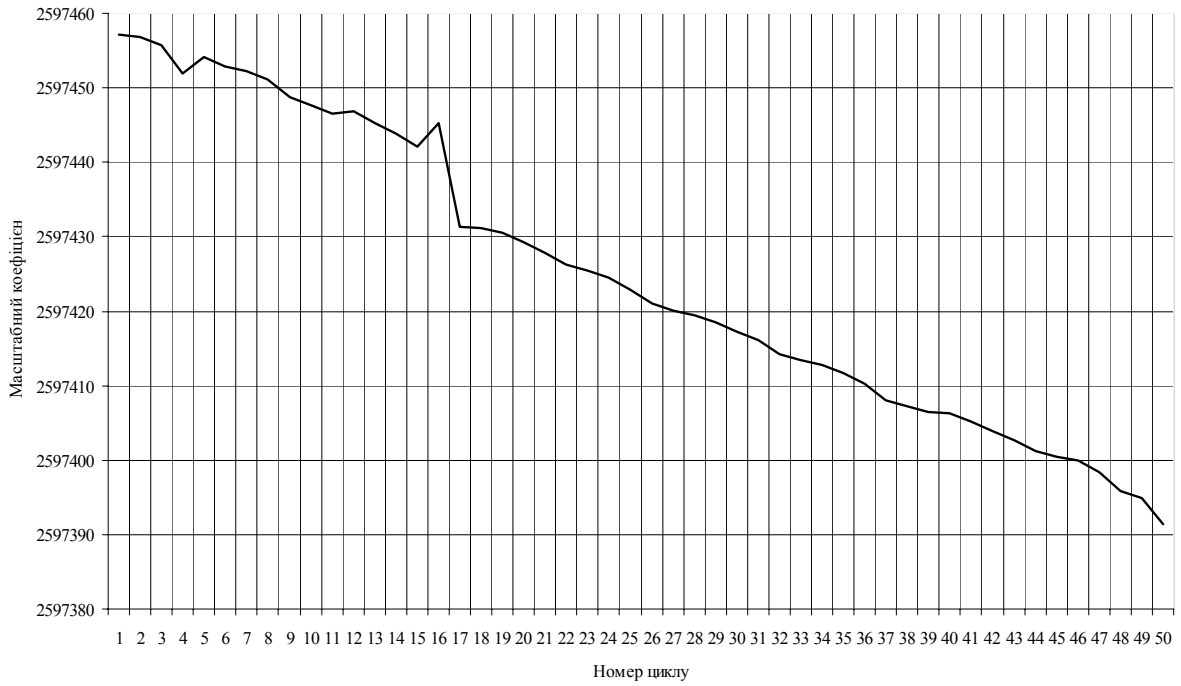


Рис. 2. Дрейф масштабного коефіцієнта

Різниця

$$\Delta N = \bar{N}_+ - \bar{N}_- = 2KW_s \sin Yt = 2F_0 t . \quad (4)$$

дає уявлення про зсув нуля вихідної характеристики КЛ.

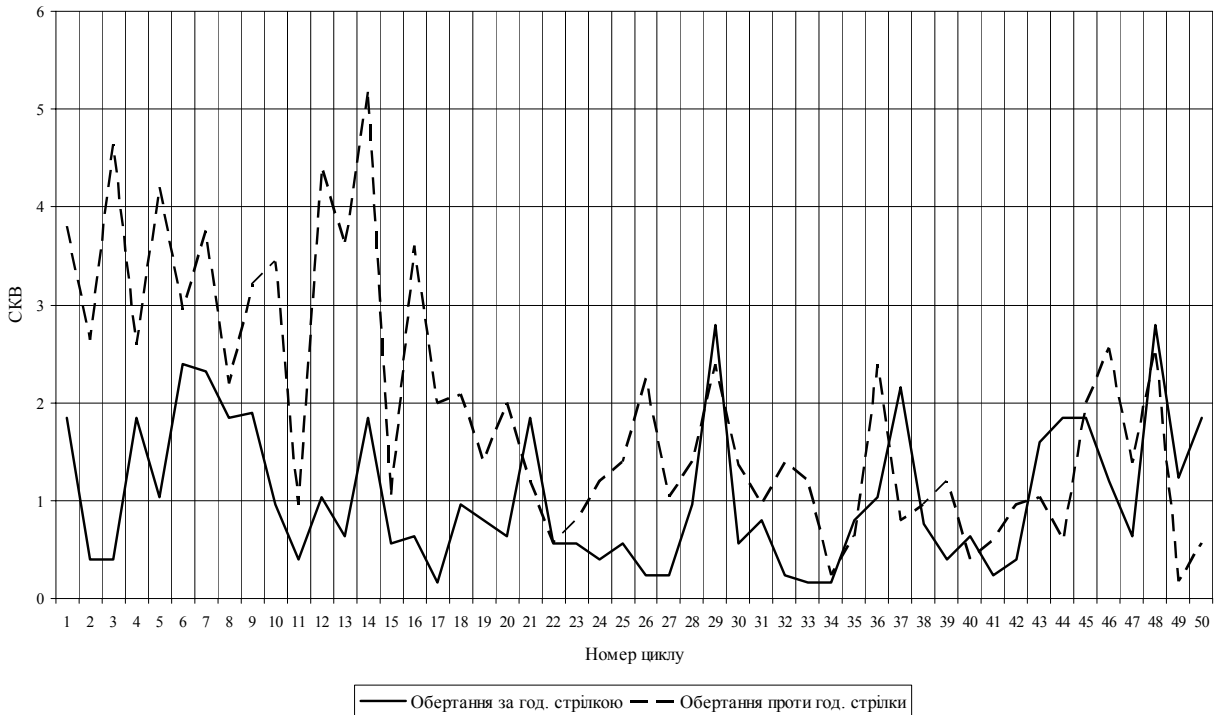


Рис. 3. Різниця середніх значень \bar{N}_+ та \bar{N}_- , виміряних в одному циклі

На рисунку 3 наведена реалізація ΔN за 50 циклів вимірювань. За виключенням перехідного процесу на початку вимірювань (цикли 1, 2) і по одному циклу до і після скачка, середнє значення ΔN за цикли 1-16 складає 163,73, а за цикли 22-50 – 163,46.

Таким чином зміни параметрів КЛ між 16 і 17 циклами вимірювань призводять до зміни як масштабного коефіцієнта, так і зсуву нуля вихідної характеристики.

Частоту зсуву нуля вихідної характеристики оцінювали за формулою

$$F_0 = \frac{(\overline{N}_+ - \overline{N}_-) - 2KW_3 t \sin Y}{2t} \quad (5)$$

Середній зсув нуля для циклів 1-16 склав $F_0 = 0,32$ Гц; для циклів 22-50 $F_0 = 12$ Гц.

Така частота зсуву нуля значно менше частоти, обумовленої кутовою швидкістю обертання Землі.

Оцінювання стабільності роботи при обертанні за і проти руху стрілки годинника проводилось шляхом обчислення середнього квадратичного відхилення (СКВ) кількості періодів за 5 обертів у кожному з півциклів вимірювань. На рис. 4 наведено СКВ при обертанні проти стрілки годинника (пунктирна лінія), і за стрілкою годинника (суцільна лінія). До скачка масштабного коефіцієнта СКВ при обертанні проти стрілки годинника більше СКВ при обертанні у зворотний бік, однак після скачка СКВ, як при обертанні за, так і проти стрілки годинника, стало однаковим. Це свідчить про те, що після скачка масштабного коефіцієнта відбулась перебудова резонатора.

Оцінювання СКВ при двосторонньому обертанні може бути використане для контролю роботи КЛ.

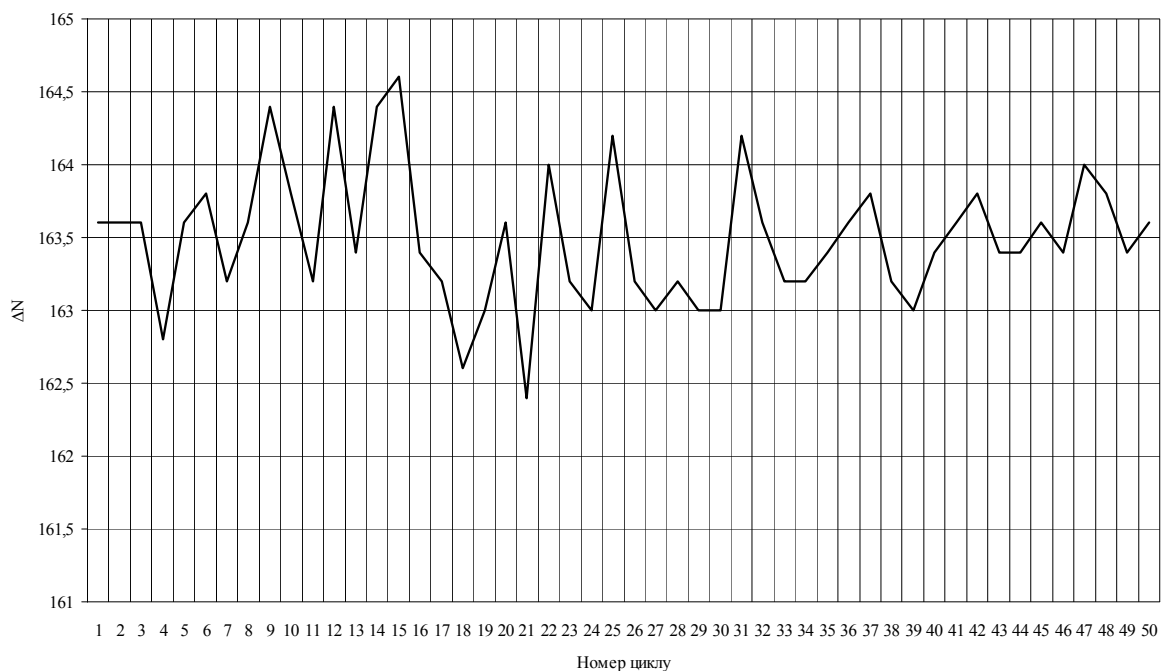


Рис. 4. СКВ для кожного вимірюваного півциклу

Висновок. Зміни масштабного коефіцієнта КЛ являють собою лінійний дрейф. Похибка вимірювання кутів, обумовлена цим дрейфом масштабного коефіцієнта, є не значною (при $W = 90$ град./с не перевищує 0,01 кут./с). Відповідна обробка інформації з урахуванням оцінки дрейфу масштабного коефіцієнта КЛ дозволить зменшити складову похибки вимірювання, обумовлену ним.

Оскільки зміни параметрів КЛ впливають як на зміну масштабного коефіцієнта, так і на зсув нуля вихідної характеристики, доцільно контролювати роботу КЛ, оцінюючи СКВ кількості періодів при його двосторонньому обертанні.

На похибку визначення масштабного коефіцієнта впливає точність роботи фотоелектричного автоколіматора, нестабільність швидкості обертання поворотного пристрою, дискретність квантування сигналу КЛ.

Література

1. Лазерные измерительные системы / Батраков А.С., Бутусов М.М., Гречка Г.Л. и др./ Под ред. Д.П. Лукьянова. – М.: Радио и связь, 1981. – 256 с.
2. Ванорихин А.И., Зайцев И.И. Автоматизированный гониометр на основе кольцевого лазера // Опτικο-механическая промышленность. – 1982. – № 9. – С. 28-31.
3. Дмитриев В.Г. Лазерная гироскопия в журнале „Квантовая электроника“ // Квантовая электроника. – № 2. – 2000. – С. 95.
4. Ljukifnov D., Rjdloff R., Sjrg H., Stieler B. Optical Gyros and their Application. – May 1993. – 152 p.
5. Filatov Yu.V., Loukiaaov D.P. Dynamic Angle Measurement by Means of a Ring Laser. – 1997. – 34. – P. 343-351.
6. <http://www.iep.uzhgorod.ua>.
7. <http://www.issep.rssi.ru/cgi-bin/soros>.
8. http://www.quantum-electron.ru/php/paper_rus/phtm/journal.

9. Магнус К. Гирскоп: Теория и применение. – М.: Мир, 1967. – 526 с.
10. Тарасов Л.В. Лазеры и их применение: Учебное пособие для ПТУ. – М.: Радио и связь, 1983. – 152 с.
11. Федоров Б.Ф. Лазеры. Основы устройства и применения. – М.: ДОСААФ, 1988. – 190 с.

Надійшла 7.1.2009 р.