

СУМІЩЕНИЙ АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПЕРИМЕТРА ЛАЗЕРНОГО ГІРОСКОПА

Вступ

Задача визначення кутових координат рухомого об'єкта є актуальною для багатьох авіаційних та космічних галузей, її розв'язанням займаються безплатформні інерціальні навігаційні системи (БІНС). В наш час найбільш точними і масовими датчиками БІНС є лазерні гіроскопи (ЛГ) [1]. Як правило, для визначення координат рухомого об'єкта (літального апарата) в БІНС використовуються три акселерометри і три ЛГ.

Сучасні тенденції розвитку без платформних інерціальних навігаційних систем спрямовані на підвищення точності чутливих елементів, у тому числі і лазерних гіроскопів. Підвищення точності ЛГ за рахунок технологічних методів в сьогоdnішніх умовах є недоцільним [2]. Найбільш простим методом поліпшення точностних властивостей гіроскопа є підвищення точності електронних систем ЛГ.

Постановка задачі

Метою статті є дослідження запропонованого алгоритму роботи системи регулювання периметра лазерного гіроскопа, перевагами якого є зменшення похибки стабілізації периметра та спрощення математичної моделі обробки даних для реалізації даного алгоритму на мікроконтролерах у режимі реального часу (real-time).

Обґрунтування необхідності введення системи регулювання периметра до складу лазерного гіроскопа

З точки зору спостерігача, що обертається разом із резонатором, час, за який світлова хвиля обходить замкнутий контур, буде більшим для хвилі, що поширюється в напрямку обертання резонатора, ніж для хвилі, що поширюється в протилежному напрямку. Оскільки швидкість світла є сталою, то цей ефект інтерпретується спостерігачем як збільшення сумарної довжини оптичного шляху в напрямку обертання і скорочення довжини шляху в протилежному напрямку. Оскільки з умов резонансу випливає, що на довжині резонатора ЛГ повинне укладатися ціле число оптичних довжин хвиль, то зміна шляху має супроводжуватися зміщенням по частоті із протилежним знаком для зустрічних хвиль.

Виникаюча різниця частот зустрічних хвиль f прямо-пропорційна швидкості Ω :

$$f = \Omega k.$$

Коефіцієнт пропорційності (масштабний коефіцієнт) виражається формулою

$$k = \frac{4A}{\lambda L},$$

де A – площа, що обмежена оптичним контуром резонатора; L – периметр оптичного контуру резонатора; λ – довжина хвилі випромінювання.

При зміні периметра лазерного гіроскопа на величини, значно менші ніж $\lambda = 0,6328$ мкм (довжина хвилі кільцевого лазера в ЛГ), коефіцієнт пропорційності k починає відхилятися від номінального значення і це призводить до появи похибок вимірювання, а при зміні периметра на величину 0,2–0,4 мкм показання ЛГ втрачають інформаційний зміст, оскільки умова резонансу порушується. Саме через це система регулювання периметра лазерного гіроскопа є невід'ємною складовою цього приладу.

Структура та принцип роботи СРП

На рис. 1 наведено структурну схему СРП для ЛГ з чотирьох дзеркальним квадратним резонатором, в якому керованими є два сусідніх дзеркала. СРП ЛГ належить до класу крокових автоколивальних екстремальних систем, що здійснюють пошук екстремуму за допомогою суміщених пробних і робочих кроків [3].

На схемі позначено:

$A_2(t) i U_{A2}$ – відповідно шумова і вихідна напруги підсилювача постійного струму 2, [В], k_{A1} – коефіцієнт підсилення; T_{A1} – стала часу [с];

ДАС – цифро–аналоговий перетворювач (ЦАП); a_{DAC} – кількість розрядів ЦАП; δ_{DAC} – ціна одиниці молодшого розряду ЦАП, [В]; U_{DAC} – вихідна напруга ЦАП, [В];

ΔL_c – приріст периметра осьового контуру, зумовлений керованими переміщеннями дзеркал, [м]; $L_q = q\lambda$ – значення периметра осьового контуру, що відповідає генерації кратної q поздовжньої моди, де q – велике ціле число; λ – робоча довжина хвилі [м];

ΔL_D – приріст периметра осьового контуру, зумовлений різними збурюючими факторами, наприклад, нагріванням моноблока ЛГ, [м], тощо; L – оптичний периметр осьового контуру [м];

ξ – коефіцієнт зворотного зв'язу; $\xi_{\text{зв}}$ – зворотним розсіюванням випромінювання на дзеркалах ЛГ, $\xi_{\text{зв}}(f)$ – зміни складові

інтенсивностей, зумовлені флуктуаціями струму розряду; $I_{1,2}$ – інтенсивності зустрічних хвиль з урахуванням збурюючих факторів;

k_{PD} – коефіцієнти передачі фотодіодів потужності, [A] $i_{PD1,2}$ – вихідні струми фотодіодів потужності [A];

k_{PA} – коефіцієнти передачі попередніх підсилювачів–перетворювачів, [B/A]; $U_{PA1,2}$ – вихідні напруги попередніх підсилювачів–перетворювачів, [B];

$A_1(t) i U_{A1}$ – відповідно шумова і вихідна напруги підсилювача постійного струму 1, [B]; a_{DAC} – кількість розрядів АЦП; δ_{DAC} – ціна одиниці молодшого розряду АЦП, [B]; U_{ADC}^n – зведена до входу АЦП власна шумова напруга, зумовлена ефектами квантування за рівнем, [B];

MPS – мікропроцесорна система (МПС);

S_p – величина кроку пошуку екстремуму в одиницях коду.

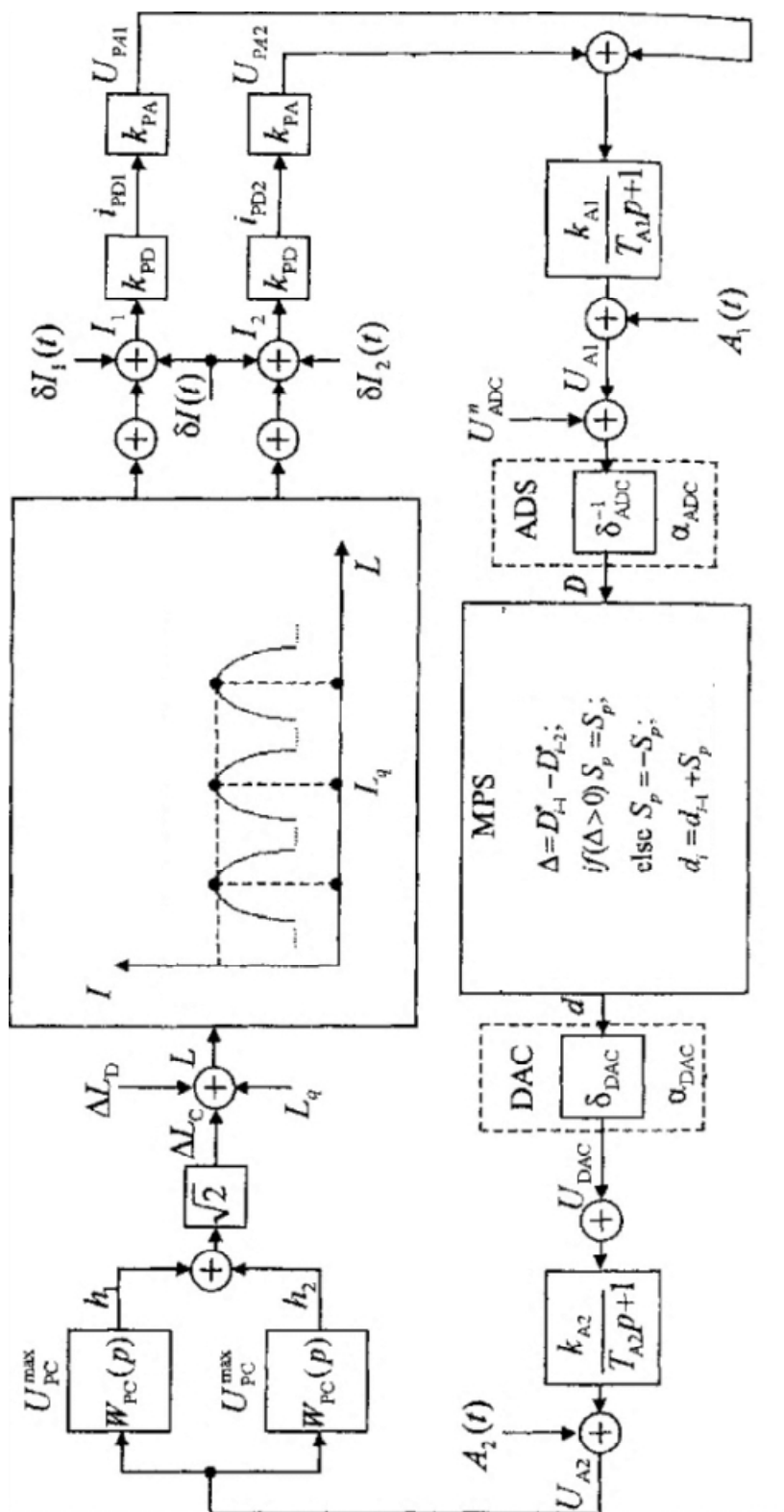


Рис. 1. Структурна схема СРП ЛГ

Принцип роботи СРП ЛГ полягає в корекції периметра лазерного гіроскопа за допомогою п'єзокоректорів, розташованих на двох дзеркалах резонатора ЛГ, які в залежності від поданої на них напруги забезпечують

переміщення дзеркал і, відповідно, зміну периметра ЛГ у межах s , n – ціле число, зазвичай $n = 2$.

Алгоритми роботи СРП

Найбільш розповсюдженими є алгоритми на основі крокового пошуку [3], [4]:

Кроковий алгоритм пошуку зі суміщеними робочими і пробними кроками. Алгоритм полягає в тому, що для оцінки положення екстремуму (у нашому випадку периметра) використовується значення параметра Q (показника якості – значення величини i), який вимірюється при кожному робочому кроці. Якщо ця величина зростає по відношенню до попереднього значення, то знак кроку системи не змінюється, а в іншому випадку знак робочого кроку змінюється. Принцип роботи крокового алгоритму зі суміщеними робочими і пробними кроками проілюстрований на блок-схемі рис. 2, рис. 3. Легко можна побачити, що основним недоліком є незмінюваність значення величини робочого кроку пошуку, серед переваг найбільш значним є те, що математичний апарат алгоритму простий і легко записується у мікроконтролер, не потребує значних обчислювальних ресурсів.

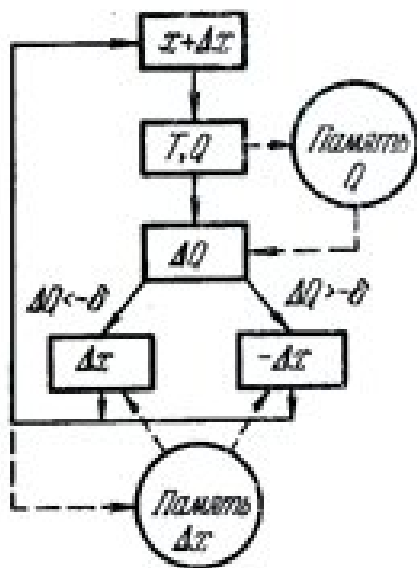


Рис. 2. Блок-схема алгоритму

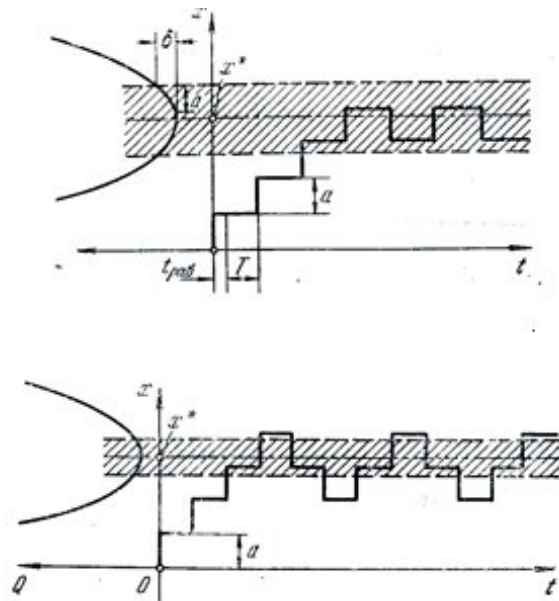


Рис. 3. Робота алгоритму

Кроковий алгоритм на основі градієнтного методу пошуку. Алгоритм полягає в тому, що показник якості системи Q вимірюється у процесі проведення робочих кроків, і від величини відхилення значення Q від максимального значення приймається рішення про величину робочого кроку (рис. 4). При різних методах вибору робочого кроку отримуємо результати, які можуть бути як і кращими за метод крокового пошуку зі суміщеними робочими і пробними кроками, так і гіршими.

Принцип роботи алгоритму на основі градієнтного методу пошуку показаний на рис. 5.

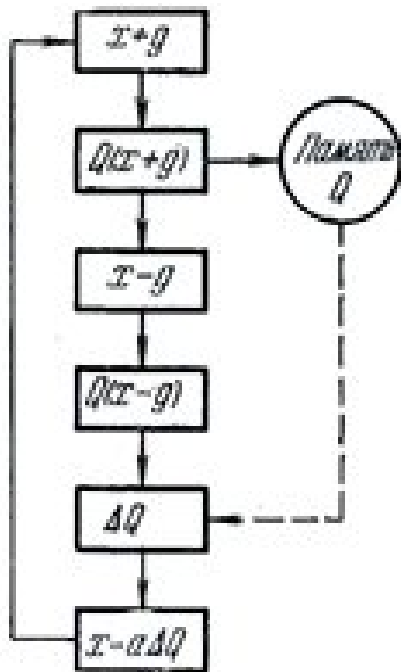


Рис. 4. Блок-схема алгоритму

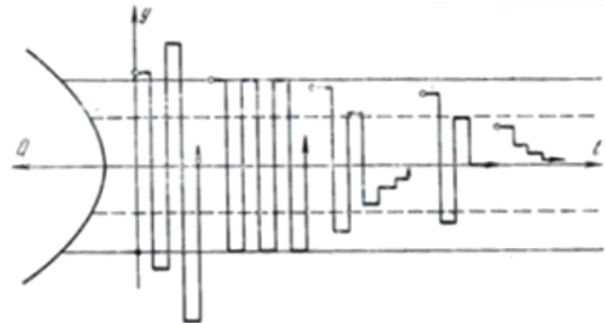


Рис. 5. Робота алгоритму

У цьому методі присутні як переваги, які полягають в тому, що система має менший час перерегулювання, так і недолік – при швидкій зміні показника якості цей алгоритм дає суттєве підвищення значення похибки.

Суміщений алгоритм роботи СРП

Алгоритм роботи СРП ЛГ – це програма, яка реалізує поведінку системи регулювання при всіх можливих умовах експлуатації. Спрощений суміщений алгоритм роботи СРП ЛГ показаний на рис. 6, рис. 7.

Суміщений алгоритм реагує на зміну периметра як кроковий алгоритм пошуку зі суміщеними робочими і пробними кроками та оцінює значення параметра якості системи і відповідно до цього приймає рішення про величину кроку, тобто виконує функції градієнтного алгоритму

Перевагою алгоритму є відсутність обробки великих масивів статистичних даних та зміна величини кроку СРП виключно по теперішньому значенню струму на фотоелементах, що призводить до мінімально можливого часу прийняття рішення, що дає можливість реалізації на простих і не дорогих мікроконтролерах, працюючих в реальному режимі часу.

Результати роботи алгоритму

Результати роботи програми моделювання динаміки СРП при новому алгоритмі подамо у вигляді графіків.



Рис. 6. Спрощена блок-схема алгоритму

Прийняття рішення на основі відношення значення струму, знятого з фотоелементів до максимального значення струму $i/i_{\max}$

При значенні : 1 відношення виміряного з фотоелементів струму до максимально можливого ми отримали повну стабілізацію периметра лазерного гіроскопа і зменшуємо крок системи у 8 разів новий крок системи = старий крок /8

При значенні між 1 і 0.8 відношення струму знятого з фотоелементів, до масимального, крок системи регулювання периметру новий крок = старий крок*1.1

При значенні між 0.8 і 0.6 відношення струму знятого з фотоелементів, до масимального, крок системи регулювання периметру новий крок = старий крок*1.3

При значенні між 0.6 і 0.4 відношення струму знятого з фотоелементів, до масимального, крок системи регулювання периметру новий крок = старий крок*1.7

При значенні між 0.4 і 0.2 відношення струму знятого з фотоелементів, до масимального, крок системи регулювання периметру новий крок = старий крок* 2

При значенні відношення менше 0.2 система може реагувати дуалістично, чи збільшити крок в 10 разів (наприклад), чи перевести роботу лазерного гіроскопу на іншу моду (при стрімкому падінні показника). Алгоритм вирішення цього питання не є тривіальним

Рис. 7. Спрощений принцип прийняття рішення

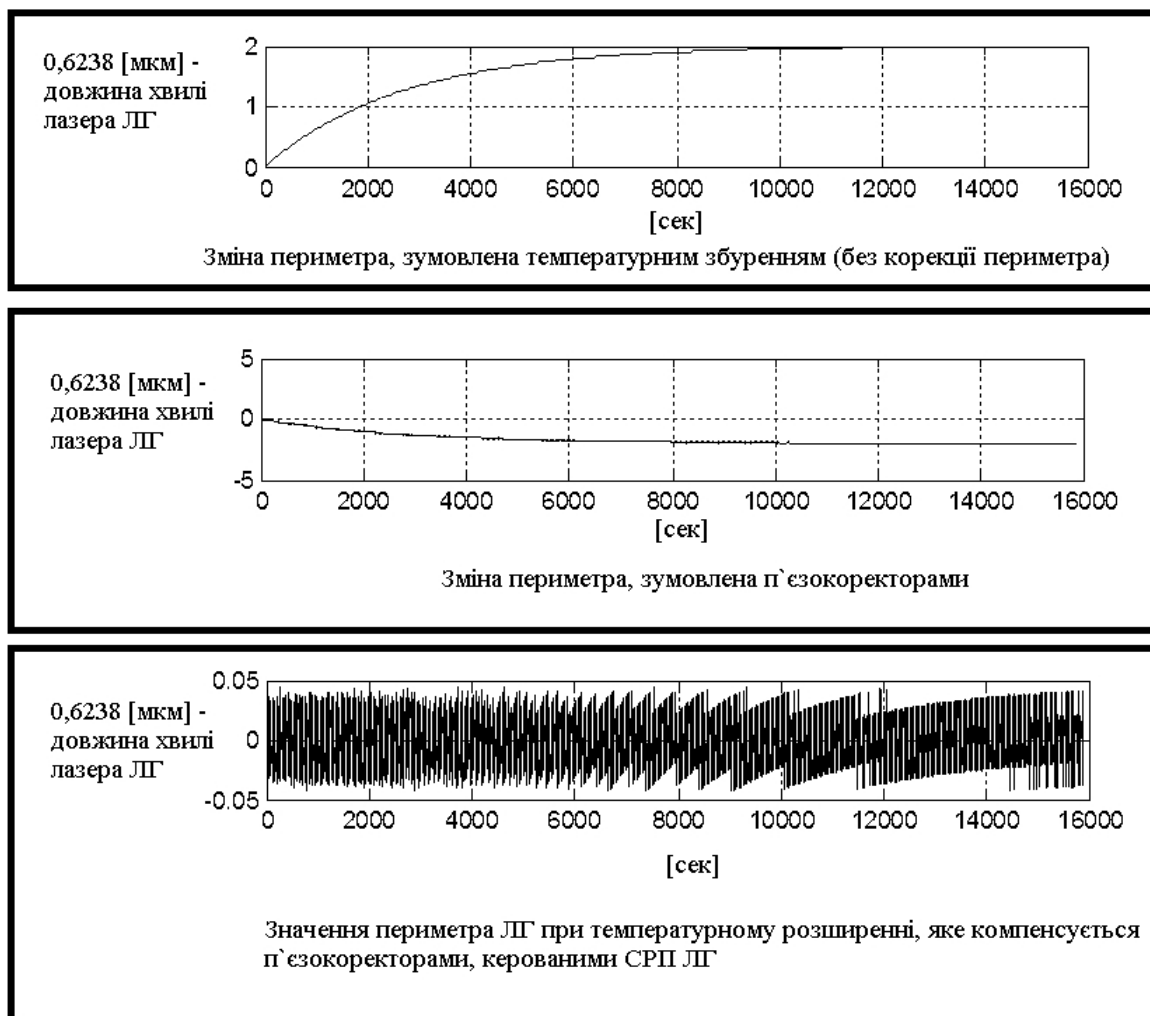


Рис. 8. Результати роботи СРП із алгоритмом пошуку з суміщеними робочими і пробними кроками

Слід зазначити, що моделювання проводилось в проміжок часу(рис. 8 – рис. 9) 15000 секунд, тобто практично 4 години. Також важливим є те, що значення зміщення нуля в існуючих ЛГ знаходиться в межах 0.01° /годину, в перерахунку на похибку периметра це приблизно $0.1 h$, де h – довжина хвилі лазера ($0,6328\text{мкм}$), а в модернізованій версії алгоритму ми можемо отримати значно кращі результати – $0.032 h$.

Таблиця 1.

Статистичні дані з графіків

Назва алгоритму	Результати роботи СРП із алгоритмом пошуку зі суміщеними робочими і пробними кроками	Результати роботи СРП ЛГ із суміщеним алгоритмом
Середнє значення похибки СРП	0.0451 [h]	0.032 [h]

Максимальне значення похибки	0.048[h]	0.047 [h]
---------------------------------	----------	-----------

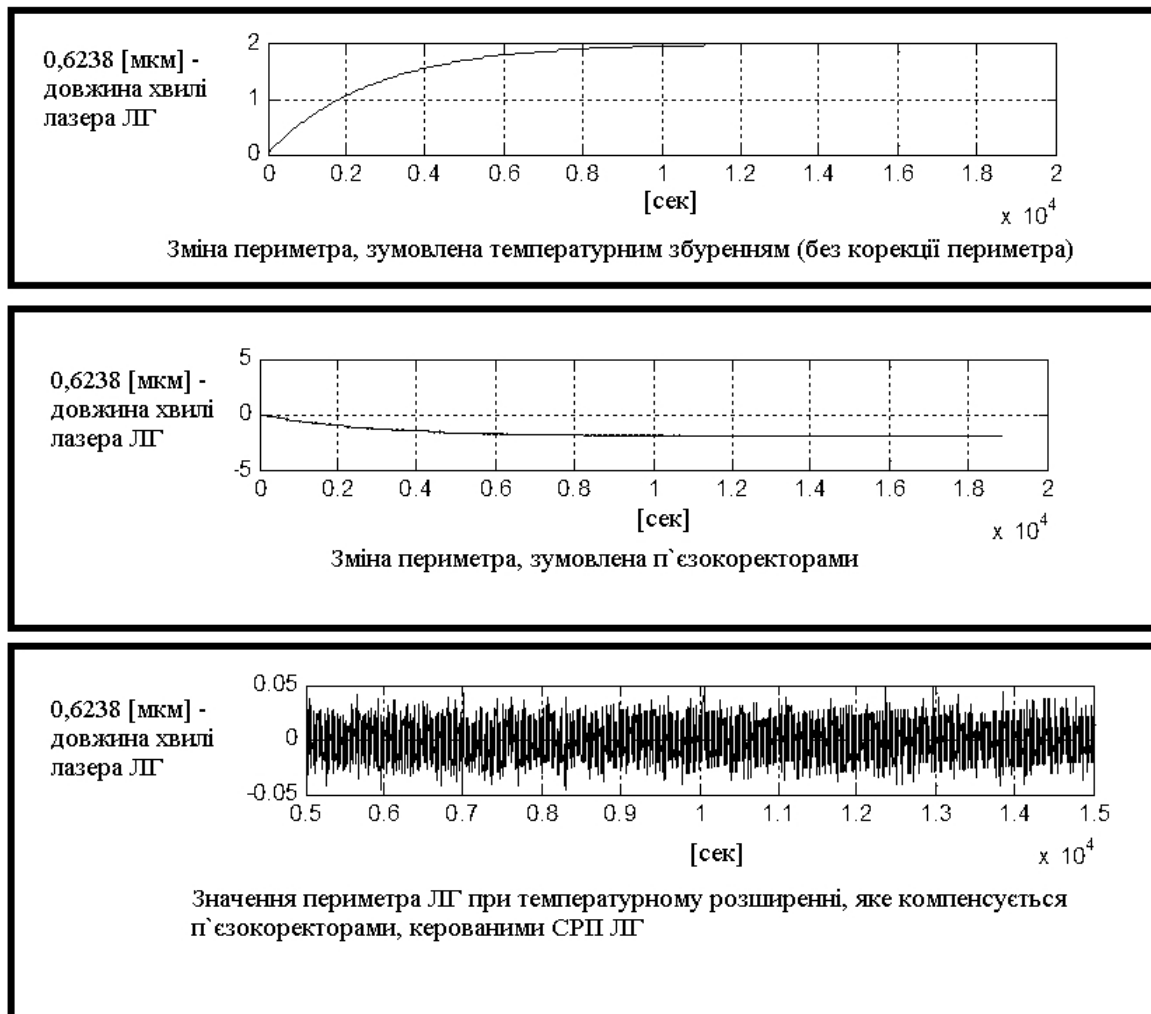


Рис. 9. Результати роботи СРП ЛГ із суміщеним алгоритмом

Висновки

Розроблений алгоритм роботи СРП ЛГ дозволяє отримати точність стабілізації периметра ЛГ у межах 0.05 h при середньому відхиленні від значення – 0.032 h (значення 0.1 h є типовим для наявних на ринку ЛГ). Це дозволяє отримати більшу стабільність нуля, що, в свою чергу, дозволяє підвищити точність вимірювання лазерного гіроскопа.

Список використаної літератури

1. Aronowitz Fr. Fundamentals of the ring laser gyro [Text] / Fr. Aronowitz // In: Optical gyros and their Application. RTOAGARDograph 339.–1999. – P.3-1–3-45.

2. *Шолохова А. Л.* Предварительное исследование устойчивости автоматической системы регулирования периметра лазерного гироскопа [Текст]/ А. Л. Шолохова //Научные труды «МАТИ»-РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2001, вып.4 (76), с. 436-442.
3. *Растринин Л. А.* Система экстремального управления [Текст]/ Л. А. Растринин // Наука. – 1974. – С. 102–150.
4. *Бондаренко Е. А.* Частотная характеристика равномерно вращающегося лазерного гироскопа с неодинаковым усилением встречных волн [Текст]/ *Е. А. Бондаренко* // Квантовая электроника. - 2002. - Т. 32, № 2. - С. 160-164.