

БЕЗВЕСІЛЬНА ОЛЕНА

НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0002-6951-1242>e-mail: [o.bezvesilna@gmail.com](mailto:o.bezvesilna@gmail.com)

НЕЧАЙ СЕРГІЙ

НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0002-7821-6472>e-mail: [prilad@gmail.com](mailto:prilad@gmail.com)

ТОЛОЧКО ТЕТЯНА

НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<https://orcid.org/0000-0002-2346-0419>e-mail: [prilad168@gmail.com](mailto:prilad168@gmail.com)

ГРИНЕВИЧ МАРІЯ

Державний університет «Житомирська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0001-9183-5211>e-mail: [kakit\\_gms@ztu.edu.ua](mailto:kakit_gms@ztu.edu.ua)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ МОДЕЛІ ПОБУДОВИ СТАБІЛІЗАТОРА З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ

У статті вирішено актуальну проблему - досліджено зміни моделі побудови стабілізатора з метою підвищення точності. У процесі оптимізації було визначено основні варіанти оптимальних значень налаштувальних коефіцієнтів блоку управління стабілізатора. Для перших трьох варіантів налаштувальних коефіцієнтів проведено порівняльне моделювання з використанням двох типів ДКШ: ГТ46 та G20-075-100 зі смугою пропускання 100 Гц. Показано, що збільшення коефіцієнта підсилення позитивно впливає на жорсткість системи. Показано, що, на відміну від стабілізатора з використанням ГТ46, введення ДКШ МЕМС дозволяє збільшувати коефіцієнт підсилення й тим самим підвищити жорсткість системи. У результаті моделювання показано, що прийнятна динамічна помилка зберігається при подальшому збільшенні коефіцієнта підсилення до  $K_u$

$K_u=109$  і  $K_u=116$ . Збільшення коефіцієнта  $K_u$  до значення 122 призводить до збільшення коливальності динамічної помилки стабілізатора. Встановлено, що зі зменшенням коефіцієнта підсилення характер зміни амплітуди динамічної помилки для ДКШ ГТ-46 та G20-075-100 збігається. Встановлено, що високочастотні

коливання, які мають місце, обумовлені досить високим коефіцієнтом підсилення  $K_u=102$ . Показано, що застосування ДКШ МЕМС, що характеризується високими резонансними частотами, дозволяє виключити смуговий фільтр із складу стабілізатора. Встановлено, що зі збільшенням смуги пропускання ДКШ забезпечується більш плавне відпрацювання заданого гармонійного впливу. Визначено, що підвищення точнісних характеристик може бути досягнуто за рахунок зменшення дискретності обробки цифровим обчислювачем блоку управління до 1,0 мс та полоса пропускання не менше 100 Гц. Забезпечено високі вимоги щодо точності стабілізатора – динамічна похибка не перевищує 1 т.д. (3.6 кут. хв).

Ключові слова: стабілізатор, динамічна похибка, моделювання, гармонійний вплив, імпульсний вплив, налаштувальні коефіцієнти, коефіцієнт підсилення.

BEZVESILNA OLENA, NECHAI SERGEY, TOLOCHKO TETIANA

NTUU «Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky»

GRYNEVYCH MARIYA

State University «Zhytomyr Polytechnic»

## RESEARCH OF THE CHANGE OF THE STABILIZER CONSTRUCTION MODEL WITH THE PURPOSE OF INCREASING ACCURACY

The article solves an actual problem - changes in the stabilizer construction model are investigated in order to increase accuracy. In the process of optimization, the main variants of the optimal values of the adjustment coefficients of the stabilizer control unit were determined. For the first three variants of the tuning coefficients, comparative modeling was carried out using two types of DCS: GT 46 and G20-075-100 with a bandwidth of 100 Hz. It is shown that an increase in the amplification factor has a positive effect on the rigidity of the system. It is shown that, in contrast to the stabilizer using GT46, the introduction of the DCS MEMS allows to increase the amplification factor and thereby increase the rigidity of the system. As a result of the simulation, it is shown that the acceptable dynamic error is preserved when the amplification factor is further increased to  $K_u = 109$  and  $K_u = 116$ . An increase in the  $K_u$  coefficient to a value of 122 leads to an increase in the fluctuation of the dynamic error of the stabilizer. It was established that with a decrease in the amplification factor, the nature of the change in the amplitude of the dynamic error for the GT-46 and G20-075-100 DCS coincides. It was established that the high-frequency oscillations that occur are caused by a rather high amplification factor  $K_u=102$ . It is shown that the use of the DCS MEMS, which is characterized by high resonant frequencies, makes it possible to exclude the bandpass filter from the stabilizer. It was established that with an increase in the bandwidth of the DCS, a smoother working out of the given harmonic influence is ensured. It was determined that an increase in accuracy characteristics can be achieved by reducing the discreteness of processing by the digital computer of the control unit to 1.0 ms and a bandwidth of at least 100 Hz. High requirements for the accuracy of the stabilizer are ensured - the dynamic error does not exceed 1 td. (3.6 angular min).

Key words: stabilizer, dynamic error, modeling, harmonic influence, impulse influence, adjustment factors, gain factor.

### Постановка проблеми

Стабілізатори використовуються у багатьох галузях науки і техніки: у гравіметрії для стабілізації осей чутливості навігаційних чутливих елементів (гравіметрів, акселерометрів), у військовій галузі для стабілізації озброєння та ін.

Від точності стабілізаторів великим чином залежить як точність гравіметричних систем, так і ефективність сучасних систем озброєння. Тому дослідження питань підвищення точності стабілізаторів надзвичайно актуальні.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Стабілізаторам присвячена велика кількість наукових праць [1–12 та ін.]. У [5] описана процедура вимірювання динамічної похибки стабілізації. В [7] надано технічний опис та деякі вказівки щодо експлуатації стабілізаторів. В [8] висвітлено автоматичні системи управління стабілізаторами. У [6] надано аналітичний огляд закордонних систем наведення та стабілізації.

Однак, з відомої літератури [1–12 та ін.], присвяченої стабілізаторам, видно, що дослідження зміни моделі побудови стабілізатора з метою підвищення точності не проводились.

Тому **мета даної статті** – висвітлити питання підвищення точності стабілізатора шляхом дослідження зміни моделі побудови стабілізатора.

Завдання статті наступні:

- дослідити вплив полоси пропускання;
- дослідити вплив дискретності обчислення;
- оцінити імпульсний вплив;
- оцінити похибку стабілізатора на підставі дослідження реакції на гармонійний сигнал.

### Викладення основного матеріалу статті

Було проведено моделювання з метою вивчення можливості підвищення точнісних характеристик стабілізатора з використанням як традиційного електромеханічного гіроскопічного датчика кутової швидкості (ДКШ) ГТ46, так і сенсору нового типу, Кориолісова вібраційного гіроскопа (КВГ) [1,2].

Використання нових твердотільних КВГ є одним з основних напрямків сучасного приладобудування. Такі датчики мають широку область застосування, у тому числі, вони забезпечують стабілізацію платформ із установленими на них вимірювальними пристроями й системами керування рухомими об'єктами різного класу, вимірювальними блоками для інерціальної навігації.

Одночасно з гіротахометром ГТ46 [1,2] та ДКШ КВГ з полосою пропускання та дискретністю обчислення 100 Гц [5], були проведені відповідні оцінки і для ДКШ типів MEMSG20-075-100 з полосою пропускання 100Гц і волоконно-оптичного гіроскопа (ВОГ) ВГ910Ф [6] з полосою пропускання 450 Гц, представлені на рис. 1.

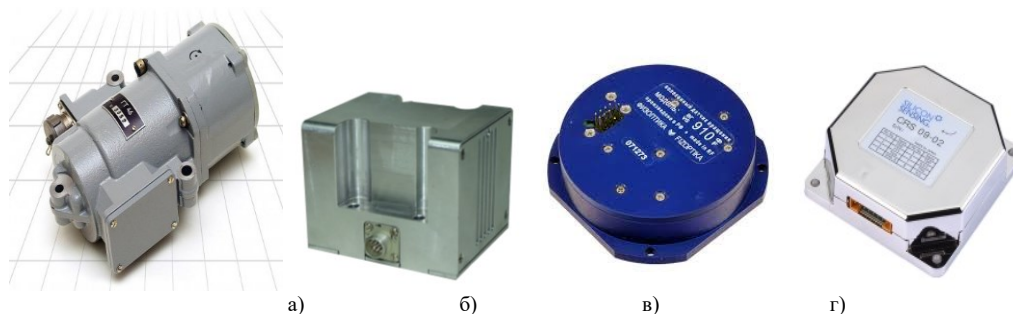


Рис. 1. Датчики кутової швидкості: а) електромеханічний гіротахометр ГТ46; б) Кориолісовий вібраційний гіроскоп КВГ26; в) оптико-волоконний гіроскоп ВГ910Ф; г) мікромеханічний гіроскоп (MEMS) CRS03

При проведенні моделювання було проведено оцінку впливу смуги пропускання та дискретності обчислення інформаційного обміну.

При моделюванні використовувались обчислювальні схеми гіроскопічних вимірювачів ГТ46, КВГ100 та ВГ910Ф [9–11]. Технічні характеристики цих датчиків кутової швидкості наведено у таблиці 1 [1].

Дослідження можливості підвищення точності стабілізатора з урахуванням уведення датчиків кутової швидкості нових типів було проведено з урахуванням таких основних положень, як оптимізація параметрів посилення ДКШ, постійна часу інтегратора, а також налаштовувальні коефіцієнти у контурах керування.

Таблиця 1

Таблиця порівняльних характеристик датчиків кутової швидкості

| №  | Технічний параметр              | ГТ46                      | КВГ                          | МЕМС CRS03                        | ВГ910Ф                |
|----|---------------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| 1  | Смуга пропускання               | 30 Гц                     | 100 Гц                       | 100 Гц                            | (400/-) Гц            |
| 2  | Час готовності                  | 120 с                     | < 1 с                        | < 0,1 с                           | -/0,2с                |
| 3  | Діапазон швидкостей             | $\pm 50$ °/с              | $\pm 200$ °/с, $\pm 400$ °/с | $\pm 75$ °/с                      | $\pm 370$ °/с         |
| 4  | Поріг чутливості                | 0,015 °/с                 | –                            | –                                 | –                     |
| 5  | Масштабний коефіцієнт           | 0,17 В-с/град             | 0,04 1/(град сек)            | 15 мВ/(град сек)                  | 5,5/7,5 мВ/(град сек) |
| 6  | Дрейф нуля                      | –                         | < 5 град/час                 | –                                 | < 4 град/час          |
| 7  | Шум                             | –                         | 0,003 град/час               | 0,05 град/сек/ $\sqrt{\text{Гц}}$ | –                     |
| 8  | Діапазон температур             | $-40 \div +70$ ° C        | $(-40 \div +75)$ °C          | $(-40 \div +85)$ ° C              | $(-40 \div +70)$ ° C  |
| 9  | Напруга живлення                | ~3ф, 36В<br>400Гц (0,4) А | (15 $\div$ 30) В,<br>2,5 Вт  | –                                 | + 5 В (20 °C)         |
| 10 | Стійкість до ударів             | 100 g<br>(0,5-1) мс       | –                            | 500g                              | 1/150 мс/g            |
| 11 | Середнє напрацювання на відмову | 1000 ч                    | > 500000 ч                   | –                                 | 60000 ч               |
| 12 | Вихідний сигнал                 | аналоговий                | RS-422, RS-485               | –                                 | аналоговий            |
| 13 | Маса                            | 2,3 кг                    | 2,6 кг                       | 30 г                              | $\approx 120$ г       |

Оптимізація проводилася на підставі мінімізації  $H_2$  - норми замкненої передатної функції лінійної моделі стабілізатора

$$H_2 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \text{tr}(W(j\omega) * W(j\omega)) d\omega}, \quad (1)$$

де  $W(j\omega)$  -  $W(j\omega)$  — передатна функція системи стабілізації,

\* - символ комплексно-сполученої матриці.

Обраний критерій забезпечує високу точність процесів керування з урахуванням можливості зміни параметрів системи.

У процесі оптимізації були визначені наступні варіанти оптимальних значень налаштувальних коефіцієнтів блоку управління, які наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Оптимальні значення налаштувальних коефіцієнтів блока управління [1]

|           | Коефіцієнт підсилення тракту управління 0÷136 | Коефіцієнт передачі сигналу гірозахометра 0÷125 | Коефіцієнт передачі в ланцюзі зворотного зв'язку по струму 0÷125 |
|-----------|---|---|--|
| Варіант 1 | 102   | 9   | 10   |
| Варіант 2 | 85  | 7   | 8  |
| Варіант 3 | 44  | 6   | 8  |
| Варіант 4 | 102   | 7   | 10   |
| Варіант 5 | 109   | 6   | 2  |
| Варіант 6 | 109   | 7   | 2  |

В основу аналізу результатів моделювання були покладені оцінка динамічної похибки стабілізатора і його реакція на імпульсний вплив.

Оцінка динамічної похибки стабілізатора проводилася на підставі дослідження реакції на гармонійний сигнал, що подавався на вхід ДКШ (рис. 2).

Амплітуда та частота зміни сигналу відповідають коливанням корпусу виробу з амплітудою 2,5° та частотою 0,8 Гц та аналогічні методам випробувань 2Є52 [1, 2].

Оцінка імпульсного впливу проводилася на підставі дослідження реакції на послідовність імпульсів, що подавались на вхід ДКШ. Параметри імпульсних впливів приймалися у відповідності з даними, які отримані при проведенні ударних випробувань в польових умовах - тривалість імпульсу 5,0 мс з амплітудою 0,5 рад/с, що відповідає вихідному сигналу ГТ46 на рівні 6В.

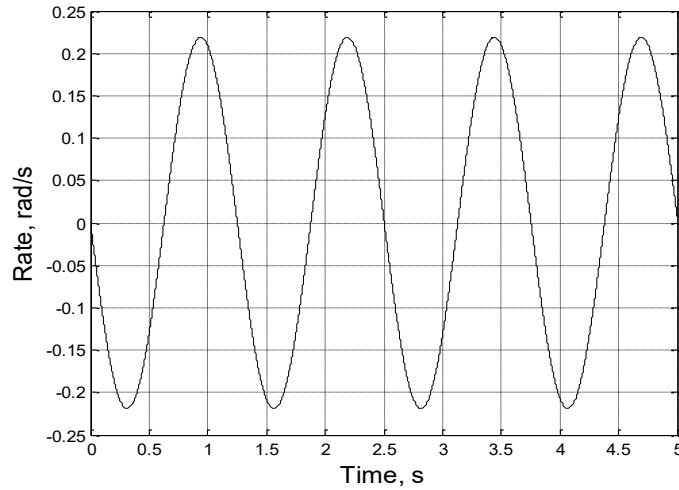


Рис. 2. Гармонійний вплив, що задається на вході ДКШ [1]

**Наведемо результати досліджень щодо впровадження нових ДКШ.**

У процесі моделювання [1, 2, 5, 6] були розглянуті варіанти налаштувальних коефіцієнтів блоку керування, значення яких наведені у табл. 1. Моделювання виконувалося на прикладі горизонтального каналу блоку управління.

Для перших трьох варіантів налаштувальних коефіцієнтів проводилося порівняльне моделювання з використанням двох типів сенсорів: ГТ46 та G20-075-100 зі смугою пропускання 100 Гц. Результати моделювання для першого варіанта налаштування представлені на рис. 3 та рис. 4. Показано, що збільшення коефіцієнта підсилення позитивно впливає на жорсткість системи.

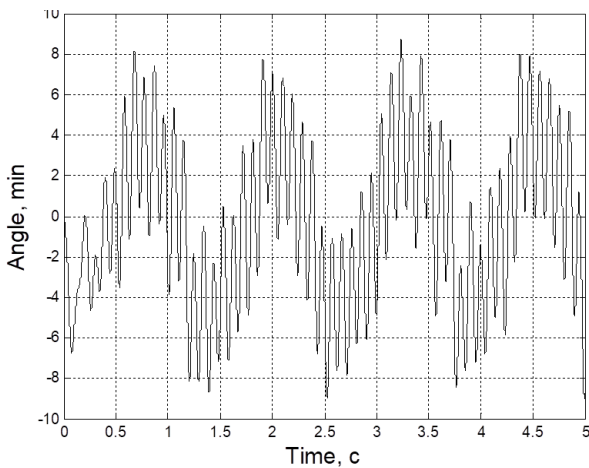


Рис. 3. Динамічна похибка стабілізатора з ГТ46 при завданні сигналу  $0,219\cos(5,02t+\pi/2)$  для варіанта 1 налаштування

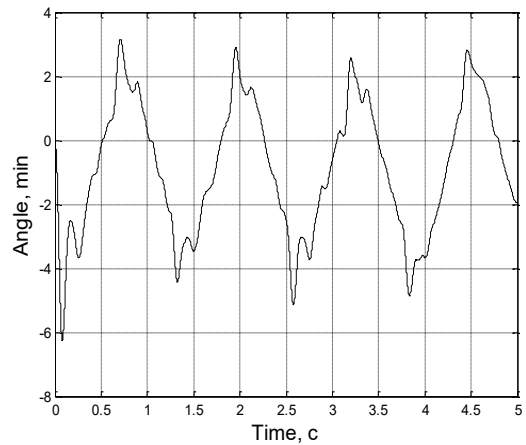


Рис. 4. Динамічна похибка стабілізатора з з G20-075-100 при завданні сигналу  $0,219\cos(5,02t+\pi/2)$   $0,219\cos(5,02t + \frac{\pi}{2})$  для варіанта 1 налаштування

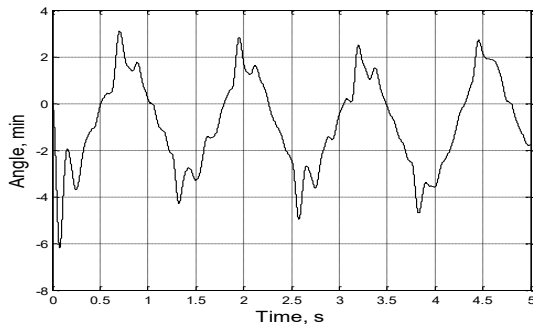


Рис. 5. Динамічна похибка стабілізатора з G20-075-100 при завданні сигналу  $0,219\cos(5,02t+\pi/2)$  для варіанта 1 налаштування  $K_p=109$

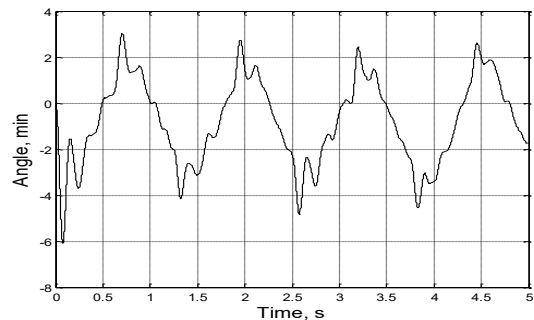


Рис. 6. Динамічна похибка стабілізатора з G20-075-100 при завданні сигналу  $0,219\cos(5,02t+\pi/2)$  для варіанта 1 налаштування  $K_p=116$

Найбільшим коефіцієнтом підсилення характеризується варіант 1 налаштувальних коефіцієнтів. На відміну від стабілізатора з використанням ГТ46, уведення ДКШ МЕМС дозволяє збільшувати коефіцієнт підсилення й тим самим підвищити жорсткість системи. Результати моделювання показали, що прийнятна динамічна помилка зберігається при подальшому збільшенні коефіцієнта підсилення до  $K_y$   $K_y=109$  і  $K_y$   $K_y=116$ . Збільшення коефіцієнта  $K_y$   $K_y$  до значення 122 призводить до збільшення коливальності динамічної помилки стабілізатора. Результати моделювання при збільшенні коефіцієнта підсилення до 109 і 116 представлені на рис. 5 та 6. Результати моделювання для другого й третього варіантів налаштування представлені на рис. 7- 8.

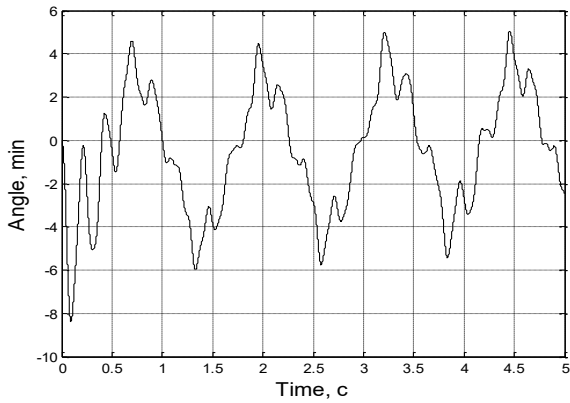


Рис. 7. Динамічна похибка стабілізатора з ГТ46 при завданні сигналу  $0,219\cos(5,02t+\pi/2)$  для варіанта 2 налаштування

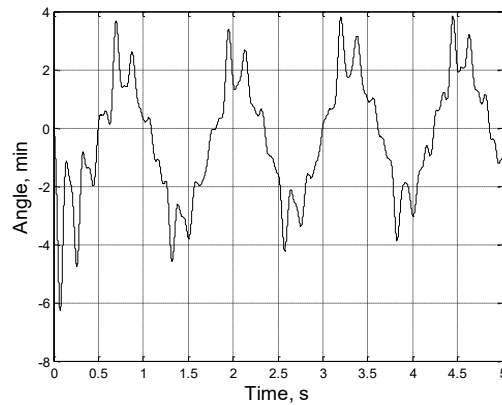


Рис. 8. Динамічна похибка стабілізатора з G20-075-100 при завданні сигналу  $0,219\cos(5,02t+\pi/2)$  для варіанта 2 налаштування

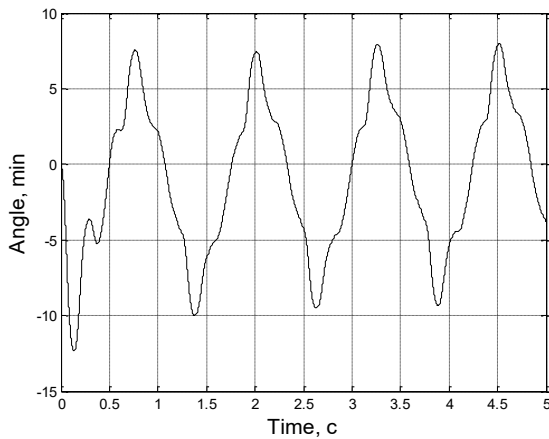


Рис. 9. Динамічна похибка стабілізатора з ГТ46 при завданні сигналу  $0,219\cos(5,02t+\pi/2)$  для варіанта 3 налаштування  $K_y=44$

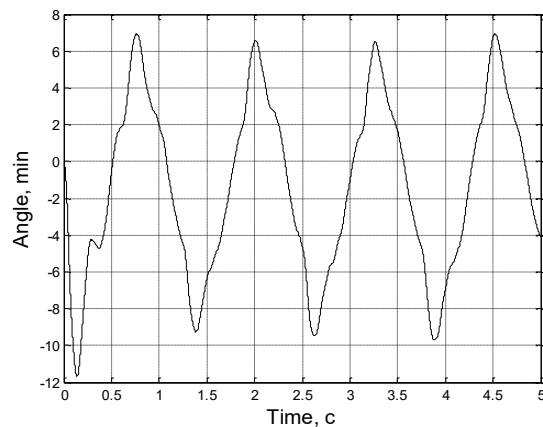


Рис. 10. Динамічна похибка стабілізатора з G20-075-100 при завданні сигналу  $0,219\cos(5,02t+\pi/2)$  для варіанта 3 налаштування  $K_y=44$

Аналіз рис. 5-6 показує, що зі зменшенням коефіцієнта підсилення характер зміни амплітуди динамічної помилки для ДКШ ГТ-46 та G20-075-100 збігається. Це дає можливість припускати, що високочастотні коливання, які мають місце на рис. 3, обумовлені досить високим коефіцієнтом підсилення  $K_y=102$ . Крім того, слід урахувувати те, що до складу стабілізатора із ГТ46 входить смуговий фільтр для зменшення резонансних частот (рис. 11). Застосування ДКШ МЕМС, що характеризуються високими резонансними частотами, дозволяє виключити смуговий фільтр із складу стабілізатора.

Зі зменшенням коефіцієнта підсилення до 44 (рис. 9 та 10, що відповідають варіанту 3 налаштування) амплітуда динамічної помилки і характер її зміни стають ідентичними. При цьому, амплітуда динамічної помилки стабілізатора перевищує припустиме значення у 2 рази.

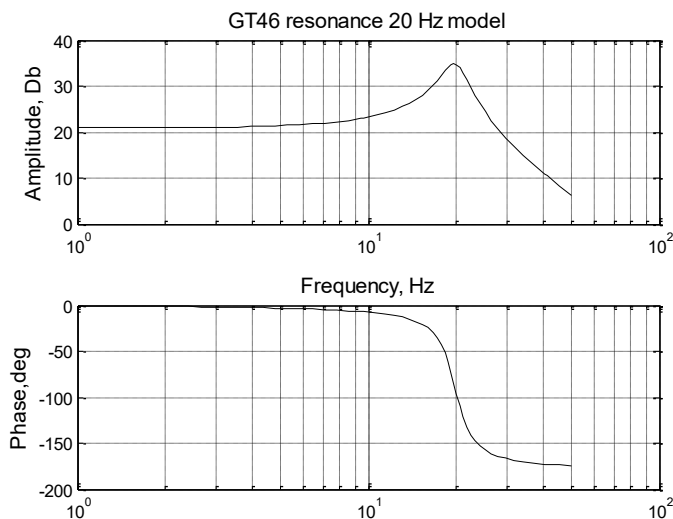


Рис. 11. ЛАЧХ ГТ46 з резонансом 20 Гц[1]

**Наведемо результати досліджень впливу смуги пропускання.** Результати дослідження впливу ширини смуги пропускання ДКШ на заводстійкість стабілізатора представлені на рис. 12–15, де задаються значення смуги пропускання 100 Гц, 200 Гц, 300 Гц, 400 Гц відповідно. При цьому використовується варіант 4 налаштувальних коефіцієнтів табл. 1. На рис. 15 представлено динамічну похибку СО при дискретності 1,0 мс для ДКШ типу ВГ910Ф. На рис. 17 представлено відпрацювання послідовності імпульсів при дискретності 1,0 мс для ДКШ типу ВГ910Ф. Графічні дані з наведених рисунків демонструють, що зі збільшенням смуги пропускання ДКШ забезпечується більш плавне відпрацювання гармонійного впливу, що задається. При цьому виконуються вимоги щодо точності стабілізатора – динамічна похибка не перевищує 1 т.д. (3.6 кут. хв).

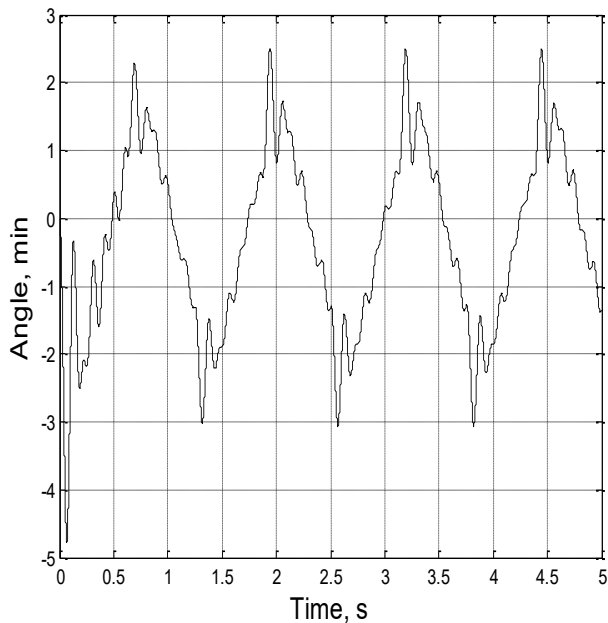


Рис. 12. Динамічна похибка при смугі пропускання ДКШ 100 Гц

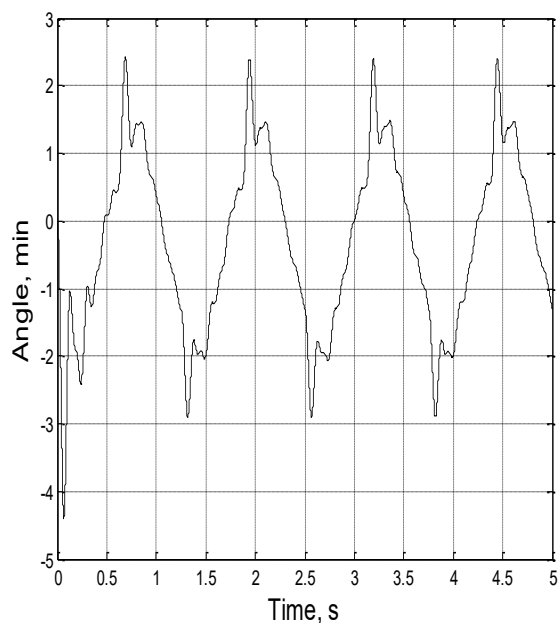


Рис. 13. Динамічна похибка при смугі пропускання ДКШ 200 Гц



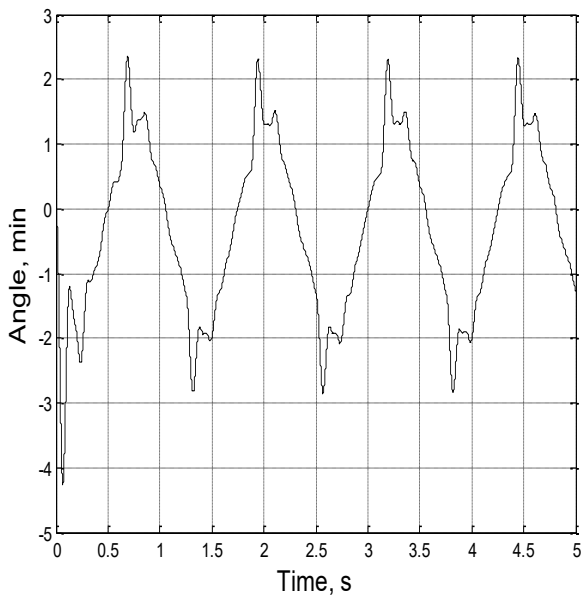


Рис. 14. Динамічна похибка при смузі пропускання ДКШ 300 Гц

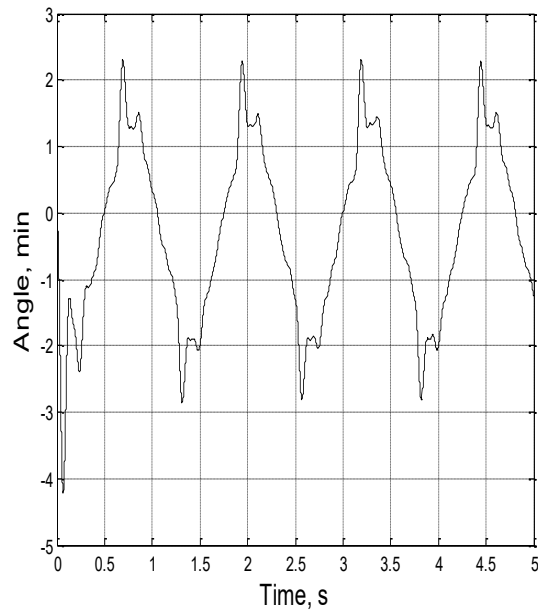


Рис. 15. Динамічна похибка при смузі пропускання ДКШ 400 Гц

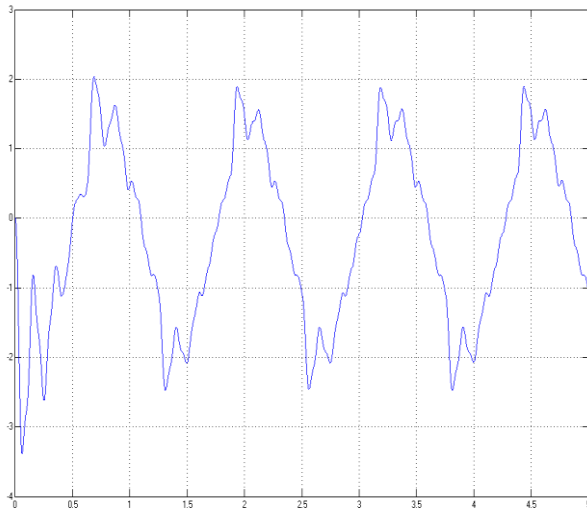


Рис. 16. Динамічна похибка CO при дискретності 1,0 мс для ВГ910Ф

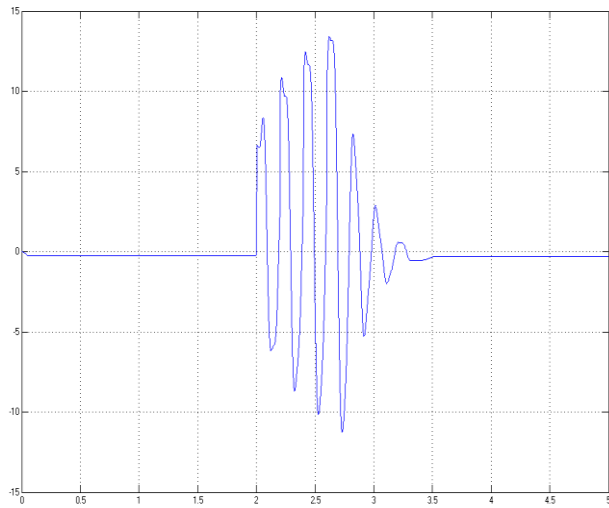


Рис. 17. Відпрацювання послідовності імпульсів при дискретності 1,0 мс для ВГ910Ф

### Висновки

1. У процесі оптимізації було визначено основні варіанти оптимальних значень налаштувальних коефіцієнтів блоку управління стабілізатора;
2. Для перших трьох варіантів налаштувальних коефіцієнтів проведено порівняльне моделювання з використанням двох типів ДКШ: ГТ46 та G20-075-100 зі смугою пропускання 100 Гц. Результати моделювання для першого варіанта налаштування представлено на рис. 3 та 4. Показано, що збільшення коефіцієнта підсилення позитивно впливає на жорсткість системи;
3. На відміну від стабілізатора з використанням ГТ46, уведення ДКШ МЕМС дозволяє збільшувати коефіцієнт підсилення й тим самим підвищити жорсткість системи. Результати моделювання показали, що прийнятна динамічна помилка зберігається при подальшому збільшенні коефіцієнта підсилення до  $K_y$   $K_{y=109}$  і  $K_y$   $K_{y=116}$ . Збільшення коефіцієнта  $K_y$  до значення 122 призводить до збільшення коливальності динамічної помилки стабілізатора;
4. Встановлено, що зі зменшенням коефіцієнта підсилення характер зміни амплітуди динамічної помилки для ДКШ ГТ-46 та G20-075-100 збігається. Це дає можливість припускати, що високочастотні коливання, які мають місце, обумовлені досить високим коефіцієнтом підсилення  $K_y=102$ . Застосування ДКШ МЕМС, що характеризуються високими резонансними частотами, дозволяє виключити смуговий фільтр із складу стабілізатора;
5. Встановлено, що зі збільшенням смузи пропускання ДКШ забезпечується більш плавне відпрацювання гармонійного впливу, що задається. При цьому виконуються високі вимоги щодо точності стабілізатора – динамічна похибка не перевищує 1 т.д. (3.6 кут. хв);

6. Математичним моделюванням визначено, що підвищення точнісних характеристик може бути досягнуто за рахунок зменшення дискретності обробки цифровим обчислювачем блоку управління до 1, 0 мс та полосною пропускання не менше 100 Гц.

### Література

1. Безвесільна О.М., Ільченко М.В. Методи та засоби підвищення точнісних характеристик приладової системи вимірювання механічних параметрів та стабілізації. КПП ім. Ігоря Сікорського. ДП «Редакція інформаційного бюлетеня» Офіційний вісник Президента України». З грифом КПП ім. Ігоря Сікорського 2020. Київ, 208 с.
2. Безвесільна О.М., Квасніков В.П., Цірук В.Г., Чіковані В.В. Системи наведення та стабілізації озброєння. Житомир: ЖДТУ, 2014. 176 с.
3. Безвесільна О.М., Ткачук А.Г., Хильченко Т.В., Нечай С.О. Simulation of influence of perturbation parameters of the new dual-channel capacitive MEMS gravimeter performance. Східно-Європейський журнал передових технологій № 6/7(84), 2016, с. 50-57.
4. Bezvesilna O.M., Tkachuk A., Chepyuk L., Nechai S., Khylichenco T. Introducing The Principle of Constructing an Aviation Gravimetric System With Any Type of Gravimeter. Східно-Європейський журнал передових технологій. № 1/7(85), 2017, с. 45–56.
5. Bezvesilna O.M., Petrenko O., Galycky V., Ilchenko M. Devising and Introducing a Procedure for Measuring a dynamic Stabilization error in Weapon stabilizers. Східно-Європейський журнал передових технологій. № 1/9(103), 2020, с. 39–45.
6. Цірук В.Г., Цірук В.Г., Квасніков В.П., Чепюк Л.О. Аналіз закордонних систем наведення та стабілізації. Вісник Інженерної академії України. 2014. № 2. С. 155–159.
7. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Боевая машина пехоты БМП-2. Часть. 1. 1987. URL: <http://armyman/info/books/id-44.html>.
8. Лепешинский И.Ю., Варлаков П.М., Захаров Д.Н., Чикирев О.И. Автоматические системы управления вооружением: учебное пособие. Омск, 2010. URL: <http://mslstarussia.ru/forum/dowland/life.php?id=36773>.
9. Гиروتахометри ГТ46-01. URL: <https://zelaz.ru/girotahometr-gt46-gt46-01.html>.
10. КВГ, ЦКВГ. URL: <https://zelaz.ru/koriolisovyy-vibracionnyy-giroskop-kvg-ckvg.htm>.
11. G20 to axis MEMS rate gyro. URL: <http://www/gladiatorotechnologies.com>.
12. Волоконные датчики вращения ВГ\*\*\*. Сводные ТУ. URL: [https://www.fizoptika.ru/docs/fizoptika\\_doc105.pdf](https://www.fizoptika.ru/docs/fizoptika_doc105.pdf).

### References

1. Bezvesilna O.M., Ilchenko M.V. Methods and means of improving the accuracy characteristics of the instrument system for measuring mechanical parameters and stabilization. KPI named after Igor Sikorsky. SE SE "Editorial of the newsletter" Official Gazette of the President of Ukraine". With the seal of KPI named after Igor Sikorsky 2020. Kyiv: 208 p.
2. Bezvesilna O.M., Kvasnikov V.P., Tsiрук V.G., Chikovani V.V. Weapon guidance and stabilization systems. - Zhytomyr: Zhdtu, 2014. 176 p.
3. Unmarried O.M., Tkachuk A.G., Khilchenko T.V., Nechai S.O. Simulation of influence of perturbation parameters of the new dual-channel capacitive MEMS gravimeter performance. East European Journal of Advanced Technologies No. 6/7(84), 2016, p. 50-57.
4. Bezvesilna O.M., Tkachuk A., Chepyuk L., Nechai S., Khylichenco T. Introducing The Principle of Constructing an Aviation Gravimetric System With Any Type of Gravimeter. Eastern European Journal of Advanced Technologies No. 1/7(85), 2017, pp. 45-56.
5. Bezvesilna O.M., Petrenko O., Galycky V., Ilchenko M. Devising and Introducing a Procedure for Measuring a dynamic Stabilization error in Weapon stabilizers. East European Journal of Advanced Technologies No. 1/9(103), 2020, p. 39-45.
6. Tsiрук V.G., Tsiрук V.G., Kvasnikov V.P., Chepyuk L.O. Analysis of foreign guidance and stabilization systems. Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine. No. 2, 2014. P. 155-159.
7. Technical description and operating instructions. BMP-2 infantry fighting vehicle. part 1. 1987. <http://armyman/info/books/id-44.html>.
8. Lepeshinsky I.Yu., Varlakov P.M., Zakharov D.N., Chikyrev O.I. Automatic weapon control systems. Teaching manual. Omsk. 2010. <http://mslstarussia.ru/forum/dowland/life.php?id=36773>.
9. Gyrotachometers GT46-01. <https://zelaz.ru/girotahometr-gt46-gt46-01.html>.
10. KVG, TsKVG. <https://zelaz.ru/koriolisovyy-vibracionnyy-giroskop-kvg-ckvg.htm>.
11. G20 to axis MEMS rate gyro. <http://www/gladiatorotechnologies.com>.
12. Fiber sensors of rotation of VG\*\*\*. Consolidated technical specifications. [https://www.fizoptika.ru/docs/fizoptika\\_doc105.pdf](https://www.fizoptika.ru/docs/fizoptika_doc105.pdf).