

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Приладобудівний факультет  
Автоматизації та систем неруйнівного контролю**

«На правах рукопису»  
УДК 621.317

До захисту допущено:  
Завідувач кафедри  
                     Юрій КИРИЧУК  
«      »                      2024 р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані  
системи та технології в приладобудуванні»**

**зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології»**

**на тему: «Автоматизована система стабілізації відеокамери»**

Виконав:

студент II курсу, групи ПМ-21мп  
Сав'юк Володимир Сергійович

\_\_\_\_\_

Науковий керівник:

професор кафедри автоматизації та систем  
неруйнівного контролю (АСНК), д.т.н., проф.  
Безвесільна Олена Миколаївна

\_\_\_\_\_

Консультант з розробки стартап-проекту:

завідувач кафедри економічної кібернетики, д.е.н., проф.  
Бояринова Катерина Олександрівна

\_\_\_\_\_

Рецензент:

д.т.н., проф.  
Шевченко Костянтин Леонідович

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент Сав'юк В.С.

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Приладобудівний факультет**

**Кафедра автоматизації та систем неруїнівного контролю**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ **Юрій КИРИЧУК**

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**

Сав'юку Володимиру Сергійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Автоматизована система стабілізації відеокамери», науковий керівник дисертації Безвесільна, Олена, Миколаївна, д.т.н., проф., затверджені наказом по університету від «08» листопада 2023 р. № 5188-с

2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_ 20.12.2023р.

3. Об'єкт дослідження: процес стабілізації відеокамери

4. Вихідні дані: габарити пристрою до 500/210/420; маса пристрою до 2.5 кг; габарити камери до 130/100/80; максимальне навантаження до 3кг; кути нахилу до 165°; швидкість нахилу до 90 °/с; частоти стабілізації 1-20 Гц; живлення від батареї 5В.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Аналіз способів стабілізації, аналітичний огляд стабілізаторів, постановка задачі, опис принципу дії та конструкції пристрою, структурна схема, вибір конструктивних елементів, розрахунок передаточних функцій пристрою, перехідний процес, частотні характеристики, стійкість системи, визначення стійкості критерієм Гурвіца, побудова логарифмічних частотних характеристик, дослідження впливу конструктивних параметрів на швидкодію приладу, розробка стартап проекту, висновки, список використаної літератури.

6. Перелік графічного матеріалу: Дослідження впливу конструктивних параметрів на швидкодію системи. Перехідні процеси (1 арк., формат А1), Кінематична схема одновісного силового гіростабілізатора (1 арк., фор. А1),

структурна схема гіростабілізатора (1 арк., формат А1), Таблиця переваг та недоліків різних видів стабілізації (1 арк., формат А1), Результати дослідження (1 арк., формат А1).

7. Перелік публікацій конференції з публікацією матеріалів: О.М. Безвесільна, Т.О. Толочко, В.С. Сав'юк, «АНАЛІЗ СПОСОБІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ». Тези Всеукраїнської науково-практичної онлайн-конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки. Житомир, 15–19 травня 2023 р., с. 101-102.

#### 8. Консультанти розділів дисертації

| Розділ                   | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------------------------|---|----------------|------------------|
|                          |   | завдання видав | завдання прийняв |
| Розробка стартап-проекту | Бояринова К.О., д.е.н., проф.             |                |                  |

9. Дата видачі завдання 28 вересня 2023 р.

#### Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації               | Термін виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|---|--|----------|
| 1     | Огляд літератури за темою                                     | 28.09.2023                                       |          |
| 2     | Огляд та розробка принципової схеми                           | 20.10.2023                                       |          |
| 3     | Огляд та розробка структурної схеми                           | 30.10.2023                                       |          |
| 4     | Опис математичної моделі пристрою                             | 05.11.2023                                       |          |
| 5     | Виконання експериментальних та розрахункових досліджень       | 10.11.2023                                       |          |
| 6     | Розробка стартап-проекту                                      | 26.11.2023                                       |          |
| 7     | Оформлення текстової та графічної частини                     | 25.12.2023                                       |          |
| 8     | Передача матеріалів МД на перевірку науковому керівнику       | 08.01.2024                                       |          |
| 9     | Передача матеріалів МД на перевірку виявлення збігів/схожості | 09.01.2024                                       |          |
| 10    | Представити МД на рецензію                                    | 10.01.2024                                       |          |
| 11    | Представити МД на затвердження зав. кафедри                   | 11.01.2024                                       |          |
| 12    | Розробка презентації та узгодження її з керівником МД         | 11.01.2024                                       |          |
| 13    | Передача електронної версії МД до бібліотеки                  | 12.01.2024                                       |          |
| 14    | Представити МД до екзаменаційної комісії                      | 19.01.2024                                       |          |

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Володимир, САВ'ЮК

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_ (підпис)

Олена, БЕЗВЕСІЛЬНА

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему «Автоматизована система стабілізації відеокамери» складається з вступу, п'яти розділів, висновків до виконаної роботи та списку використаної літератури. Дисертація містить 86 сторінок основного тексту, 44 ілюстрацій, 31 таблиць та 12 посилань. Загальний обсяг магістерської дисертації склав 99 сторінок.

**Об'єкт дослідження:** процес автоматизованої системи стабілізації відеокамери.

**Предмет дослідження:** автоматизована система стабілізації відеокамери.

**Мета дослідження:** підвищення точності автоматизованої системи стабілізації відеокамери.

**Задачі дослідження:**

1. Аналіз способів стабілізації
2. Аналітичний огляд стабілізаторів:
  - одновісні гіроскопічні стабілізатори;
  - тривісні гіроскопічні стабілізатори.
3. Механічна та математична моделі гіростабілізатора, особливості та принцип роботи:
  - постановка задачі;
  - опис принципу дії та конструкції пристрою;
  - структурна схема.
4. Експериментальні дослідження характеристик гіроскопічного стабілізатора:
  - вибір конструктивних елементів ;
  - розрахунок передатних функцій пристрою;
  - перехідний процес;
  - частотні характеристики;
  - стійкість системи. Визначення стійкості критерієм Гурвіца;
  - побудова логарифмічних частотних характеристик;

– дослідження впливу конструктивних параметрів на швидкодію приладу.

5. Розробка стартап-проєкту

6. Висновки.

7. Література.

**У магістерській дисертації виконано наступні наукові дослідження:**

- дослідження перехідних процесів;
- дослідження частотних характеристик;
- дослідження стійкості системи;
- дослідження стійкості за критерієм Гурвіца;
- дослідження логарифмічних частотних характеристик;
- дослідження впливу конструктивних параметрів на швидкодію приладу.

**Рекомендації щодо використання результатів роботи:**

Матеріали магістерської дисертації можна використовувати для подальших досліджень систем стабілізації автоматизованих приладів та систем.

**Ключові слова:** система стабілізації, відеокамера, гіроскопічний стабілізатор, точність стабілізації.

## ABSTRACT

The master's thesis on the topic "Automated Camera Stabilization System" consists of an introduction, five chapters, conclusions summarizing the entire work, and a bibliography. The dissertation comprises 86 pages of main text, 44 illustrations, 31 tables, and 12 references, with a total volume of 99 pages.

**Research Object:** Video camera stabilization process

**Research Subject:** Automated camera stabilization system

**Research Objective:** Enhancing the accuracy of video camera stabilization

**Research Tasks:**

1. Analysis of stabilization methods
2. Analytical overview of stabilizers:
  - single-axis gyroscopic stabilizers;
  - three-axis gyroscopic stabilizers.
3. Mechanical and mathematical model of gyro-stabilizer, features, and operating principles:
  - problem formulation;
  - description of the device's working principle and construction;
  - structural diagram;
4. Experimental investigations of gyroscopic stabilizer characteristics:
  - selection of design elements;
  - calculation of transfer functions of the device;
  - transient process;
  - frequency characteristics;
  - system stability determination using the Hurwitz criterion;
  - construction of logarithmic frequency characteristics;
  - study of the impact of design parameters on the device's performance speed.
5. Startup project development
6. Conclusions
7. Bibliography

**The master's thesis includes the following scientific research:**

- investigation of transient processes
- study of frequency characteristics
- analysis of system stability
- study of stability using the Hurwitz criterion
- examination of logarithmic frequency characteristics
- investigation of the impact of design parameters on device speed.

**Recommendations for using the research results:**

The materials of the master's thesis can be utilized for further research in the field of stabilization systems for automated devices and systems.

**Keywords:** stabilization system, video camera, gyroscopic stabilizer, stabilization accuracy.

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....  | 10 |
| ВСТУП.....   | 11 |
| 1. ПОНЯТТЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ КАМЕРИ.<br>АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА СТАБІЛІЗАЦІЇ.....                                     | 13 |
| 1.1. Поняття процесу стабілізації .....  | 14 |
| 1.2. Фактори, які спливають на стабілізацію.....   | 15 |
| 1.3. Автоматизована система стабілізації відеокамери.....  | 16 |
| 1.4. Призначення та функціональність систем стабілізації.....  | 17 |
| 1.5. Чутливі елементи, що використовуються у системах стабілізації.....  | 18 |
| 1.6. Висновки до розділу 1.....  | 21 |
| 2. РІЗНОВИДИ МЕТОДІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ. ЧУТЛИВІ ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМИ<br>СТАБІЛІЗАЦІЇ. ВИКОРИСТАННЯ ГІРОСКОПУ В СИСТЕМІ СТАБІЛІЗАЦІЇ<br>КАМЕРИ ..... | 22 |
| 2.1. Розгляд видів стабілізації .....  | 22 |
| 2.1.1. Цифрова (електронна) стабілізація.....  | 22 |
| 2.1.2. Цифрова стабілізація з використанням гіроскопічних сенсорів.....  | 22 |
| 2.1.3. Оптична стабілізація.....   | 23 |
| 2.1.4. Оптична стабілізація зображення в об'єктиві .....   | 24 |
| 2.1.5. Оптична стабілізація зображення у камері .....  | 25 |
| 2.1.6. Стабілізована платформа .....   | 26 |
| 2.1.7. Матрична стабілізація .....   | 26 |
| 2.2. Розгляд переваг та недоліків методів стабілізації.....  | 27 |
| 2.3. Чутливий елемент автоматизованої системи стабілізації .....   | 29 |
| 2.4. Гіроскоп, як чутливий елемент у системі стабілізації .....  | 30 |
| 2.5. Висновки до розділу 2.....  | 30 |
| 3. ГІРОСКОПІЧНИЙ СТАБІЛІЗАТОР. МЕХАНІЧНА ТА МАТЕМАТИЧНА<br>МОДЕЛІ, ОСОБЛИВОСТІ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ .....                                     | 32 |
| 3.1. Одновісний силовий гіроскопічний стабілізатор.....  | 32 |
| 3.2. Рівняння руху силового гіростабілізатора на нерухомій основі.....   | 37 |



|  |           |
|--|-----------|
| 3.3. Розгляд структурної схеми та передаточних функцій силового ГС.....                            | 40        |
| 3.4. Поняття тривісних гіростабілізаторів.....   | 42        |
| 3.5. Висновки до розділу 3.....  | 43        |
| <b>4. ЕКПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК<br/>ГІРОСКОПІЧНОГО СТАБІЛІЗАТОРА.....</b>          | <b>45</b> |
| 4.1. Теоретичні відомості та мета дослідження .....  | 46        |
| 4.2. Вибір приводу стабілізації .....  | 46        |
| 4.3. Розрахунок та вибір діаметру валу .....   | 47        |
| 4.4. Вибір датчика кута.....   | 49        |
| 4.5. Підсилювач сигналу системи стабілізації .....   | 50        |
| 4.6. Розрахунок передаточних функцій системи. Перехідні процеси.....                               | 51        |
| 4.7. Стійкість системи.....  | 58        |
| 4.8. Вплив конструктивних параметрів.....  | 62        |
| 4.9. Висновки до розділу 4.....  | 71        |
| <b>5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ «АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА<br/>СТАБІЛІЗАЦІЇ КАМЕРИ GODHUNTER».....</b> | <b>72</b> |
| 5.1. Опис ідеї проекту.....  | 72        |
| 5.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту.....                                      | 76        |
| 5.3. Розроблення ринкової стратегії проєкту.....   | 85        |
| 5.4. Розроблення маркетингової програми та плану реалізації стартап-<br>проєкту.....               | 87        |
| 5.5. Висновки до розділу 5.....  | 92        |
| <b>ВИСНОВКИ.....</b>   | <b>94</b> |
| <b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....</b>  | <b>95</b> |
| <b>ДОДАТКИ</b>   |           |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

БпЛА – безпілотний літальний апарат;

ГС – гіростабілізатор;

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика;

ФЧХ – фазо-частотна характеристика;

ЛАЧХ – логарифмічна амплітудно-частотна характеристика;

ЛФЧХ – логарифмічна фазо-частотна характеристика;

ТГС – тривісний гіростабілізатор;

ДС – двигун стабілізації;

П – підсилювач;

Р – редуктор;

ДК – датчик кута;

ДКШ – датчик кутової швидкості;

СТП – стандарти підприємств;

РО – рухомі об'єкти;

СС – система стабілізації;

ГС – гіростабілізатор;

ЧПП – час перехідного процесу;

ТГП – тривісний гіростабілізатор.

## ВСТУП

Методи поліпшення якості зйомки та відео мають все більший інтерес. Відеозйомка і відеофіксація стають все більш актуальними за рахунок зменшення їх вартості.

Однак, існує дуже багато факторів впливу, що можуть впливати на якість відеофіксації, зокрема, погіршувати її. Усунення подібних недоліків якості зйомки чи відео - актуальна задача обробки даних.

Завдання системи стабілізації - усунення наслідків вібрації основи.

Для отримання якісних відеозаписів та фотографій прилад необхідно стабілізувати за допомогою стабілізуючих елементів у відповідних стабілізуючих системах для нівелювання цих вібрацій.

Системи стабілізації є важливими при використанні в умовах, де можуть виконуватися значні рухи чи виникати вібрації, тобто за відсутності статичної опори. Тому сучасні вимоги до якості та зображення та стабільності зйомки змушують впроваджувати системи на основі сучасних досягнень техніки, зокрема і автоматизованих систем стабілізації камери.

Автоматизовані системи стабілізації є інноваційними *автоматизованими системами*, що відіграють вагомую роль у різних сферах. Вони здатні не тільки статично утримувати камеру у сталому положенні, але й автоматичному режимі здійснювати корекцію в реальному часі.

Наявна велика низка технологій та засобів на основі яких будуються автоматизовані системи стабілізації зображення, це стосується і чутливих елементів. Вибір чутливого елемента та технології має вагоме значення на те, яку точність стабілізації зможе забезпечити стабілізатор та яку вартість він буде мати.

У даному контексті дослідження та проектування спрямоване на поглиблення розуміння різних аспектів роботи та побудови автоматизованих систем стабілізації, їх призначення, функціональності та застосування.

У роботі буде детально розглянуто ключові елементи системи стабілізації, методи забезпечення, різновиди чутливих елементів, математичний опис роботи та види автоматизованих систем стабілізації камер, що дозволить визначити оптимальний варіант побудови такої автоматизованої системи.

# 1. ПОНЯТТЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ КАМЕРИ. АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА СТАБІЛІЗАЦІЇ

## 1.1. Поняття процесу стабілізації

Стабілізація в технічному розумінні це процес який забезпечує підтримку стабільного положення та орієнтації у просторі об'єкта стабілізації. Зокрема у цей перелік входять камери, які набули широкого поширення для практичного застосування у різних галузях, наприклад:

- у галузі FPV та інших БПЛА існує необхідність використання стабілізації для того, щоб під час польоту літального апарату забезпечувати стабільність зображення особливо це актуально під час роботи в реальному часі;

- фотографія та відеозйомка є популярними сферами використання, де стабілізатори використовуються, щоб уникати розмиття та тремтіння під час зйомки. Особливо це актуально при низьких швидкостях витримки чи в умовах низького рівня освітлення;

- у медичній техніці стабілізація може використовуватися для того, щоб забезпечити стабільне положення обладнання, наприклад мікроскопи чи камери. Особливо це актуально під час проведення операцій з внутрішнім введенням спеціальних апаратів з візуальним супроводженням.

Актуальність стабілізації полягає у наступних аспектах:

- використання систем стабілізації дозволяє отримувати чіткі зображення, що є важливим параметром;

- зростання вимог та стандартів у різних сферах;

- важливість відтворення відео потоку зі стабільним зображенням в режимі реального часу, наприклад для БПЛА;

- підвищення точності виконання медичних операцій.

Сфера використання фото- та відеокамер з кожним роком продовжує зростати: охоронні та реєструючі системи, професійні фотоапарати та аматорські камери, камери у телефонах, ноутбуках, планшетах, моніторах тощо. Зйомки часто ведуться з наземних, літальних, надводних і підводних рухомих об'єктів (РО), зокрема, таких

як БПЛА. У таких умовах зйомки оптичні прилади часто схильні до вібрації рухомої основи, на якій вони встановлені. Для отримання якісних відеозаписів та фотографій прилад необхідно стабілізувати для придушення цих вібрацій.[1]

## **1.2. Фактори, які впливають на стабілізацію**

Більшість проведених досліджень направлені на вивчення вже наявних технологій, їх оптимізацію, а також покращення систем керування, включно з програмним.

Однією з причин, що призводять до погіршення не лише роздільної здатності, а й якості зйомки загалом, є вплив на відеокамеру механічної вібрації у місці встановлення. Подібна вібрація завжди супроводжує відеокамери, встановлені вздовж автомобільних доріг на стовпах або спеціальних щоглах. У цьому випадку вона виникає внаслідок сильного вітру і нестабільності конструкції, що використовується. Крім того, на камеру може безпосередньо передаватися вібрація від техногенного джерела, у тому числі і в приміщеннях. Найчастіше поруч виявляється якесь потужне джерело вібрації: генератор, ліфт, входні двері, вібрація від важкої техніки тощо [2].

Для того, щоб визначити важливість використання автоматизованих систем стабілізації на основі сучасних чутливих елементах варто розглянути фактори які впливають на процес стабілізації та на систему:

1) велика маса - якщо стабілізатор має велику масу то це може зробити систему менш чутливою до корекції і важчою для стабілізації. Особливо це може мати вплив коли ця велика маса зосереджена на відносно великій відстані від центру маси. Тому відповідно є вимога до систем стабілізації, це виконання з легких та міцних матеріалів ґрунтуючись на даних щодо її використання.

Наприклад якщо система стабілізації камери виконана для безпілотного літального апарату (БПЛА), то існує вимога щодо високої надійності матеріалів, так як вони можуть піддаватися сильним впливам, але якщо це ручна камера для власного користування, то вимоги щодо матеріалів менші;

2) нестійке положення центра маси - нерівномірність розподілу маси може спричинити нестабільність системи загалом, що як наслідок матиме значно нижчу точність стабілізації;

3) якість виконання конструкції - недостатня міцність, неоптимальна геометрична конструкція системи негативно впливає на процес стабілізації, навіть може зробити її неможливою. Такі фактори можуть викликати небажані коливання у процесі роботи, що ускладнює стабілізацію, особливо це матиме вплив для систем стабілізації які працюють у жорстких умовах навколишнього середовища;

4) зовнішні фактори - у залежності від робочих умов, на процес стабілізації може впливати наступний перелік факторів: сильний вітер, вібрації (тряска), удари, температура, тиск та інші. У залежності від типу стабілізації, а відповідно і обраного чутливого елемента (ЧЕ) ці фактори можуть мати різний вплив на систему;

5) недостатня чутливість - рівень чутливості обраного елемента має пряму залежність на систему стабілізації. Цей фактор визначає мінімально можливі базові можливості щодо точності та можливостей вимірювання;

6) недосконалість електронної системи - наявність певного роду недоліків в електронній системі стабілізатора впливає на точність корекції та відповідно стабілізації. Важливо приділяти увагу оптимальному рішенню щодо побудову електронної системи.

Усі вище перераховані фактори є базовими та узагальненими, та для різних сфер можуть бути як актуальними так і не актуальними. Також цей перелік може бути ширшим, якщо наприклад система використовується у специфічних чи нестандартних умовах.

У більшості випадків точність системи стабілізації (СС) приладу визначається точністю приведення його (або візирного променя, або поля зору) до заданої позиції. Кут неузгодженості з заданим напрямом залежить від багатьох причин і розглядається як випадкова величина. Для стабілізаторів, що застосовуються для РО, важливим є спектральний склад помилки. Помилки чутливого елемента стабілізатора, обумовлені нестабільністю параметрів, відхилом гіроскопів, створюють збурення з частотою у кілька десятків разів меншою, ніж частота кутових коливань РО і можуть викликати лише повільні зсуви стабілізованої платформи від

заданого положення. На повільні зсуви платформи накладаються відносно швидкі рухи з частотами качки і власних коливань СС, зі значно більшими амплітудами, зумовленими зовнішніми збуреннями на осях СС і обкаткою стабілізуючих двигунів. Ця помилка визначається динамічними властивостями СС автоматичного регулювання. Оскільки кутова роздільна здатність високоякісної оптики досить велика, то амплітуди нутаційних коливань можуть впливати на неї і викликати помітне погіршення характеристик оптичного приладу.

Існує ряд оптичних приладів, в яких помилка відносно заданої позиції взагалі не є визначальною (наприклад, фотоапарат), а основний вплив на якість зображення стабілізації надають тільки високочастотні складові, що викликають змазування зображення і погіршення роздільної здатності. При цьому критерієм якості стабілізації служить швидкість кутового руху платформи [3].

### **1.3. Автоматизована система стабілізації відеокамери**

Автоматизована система - це комплекс взаємопов'язаних компонентів та процесів, які автоматично здатні виконувати певного роду визначені функції або конкретне завдання (перелік завдань) без прямого втручання у процес людини (оператора).

Такого роду системи зазвичай мають у своїй структурі вимірювальні пристрої, виконавчі механізми, мікроконтролери, програмне забезпечення які у поєднанні утворюють цілісну систему, яка забезпечує процес виконання визначеного роду робіт.

У випадку автоматизованої системи для стабілізації камери вони здатні забезпечувати підтримку стабільності та налаштування без впливу на цей процес користувача камери.

Автоматизована система стабілізації відеокамери (АССВ) може представляти собою спеціальний комплекс технічних рішень, механізмів, апаратних засобів, чутливих елементів тощо. У загальному вона спроектована для забезпечення стабільності камери під час руху чи інших вібрацій.



Також автоматизована система нерідко керується на основі програмного алгоритму з використанням мікроконтролера з достатньо високою обчислювальною потужністю.

Система стабілізації може бути вбудована в камери, або бути виготовленою у якості окремого пристрою. Основна концепція цієї системи полягає у тому, щоб автоматизовано забезпечувати компенсацію будь-яких небажаних рухів чи порушень, які виникають у наслідок впливу рухів оператора, коливань платформи чи інших факторів.

#### **1.4. Призначення та функціональність систем стабілізації**

Розглянемо питання призначення та функціональності АССВ:

1) стабілізація зображення: основною функцією є утримання апарату у стабільному положенні з компенсацією рухів, забезпечуючи чіткість та якість вихідного зображення та уникнення від розмиття;

2) автоматична компенсація рухів: система реагує на будь-які рухи чи тремтіння. Компенсація відбувається за рахунок використання високоточних чутливих елементів з високою чутливістю та за допомогою виконавчих елементів (наприклад серводвигуна);

3) керована стабілізація: деякий перелік систем можуть мати можливість ручного керування параметрами стабілізації, що дозволяє операторові налаштовувати та корегувати роботи системи стабілізації;

4) режими роботи: в різноманітних робочих умовах можуть виникати ситуації де є необхідність застосування різних режимів роботи, наприклад блокування на об'єкті.

Стабілізатори камер - спеціальні пристрої, які дозволяють фіксувати камеру на платформі що стабілізується. Принцип їх роботи полягає в оцінці руху та прискорення платформи, до якої прикріплена камера, за допомогою гіроскопів та акселерометрів, з подальшою обробкою цієї інформації і передачі на мотори інформації про необхідні рухи для компенсації коливань, тряски та інших небажаних рухів. Стабілізатори можуть мати різні форми та розміри: від простих ручних

стабілізаторів до важких штативів, підвісів і кранів. Такі пристрої використовують як у професійних зйомках, так і в повсякденних.

Також в СС можуть використовуватися керуючі мікропроцесори. На основі отриманих даних з датчиків вимірювання кутової швидкості і гіроскопічних сенсорів такий мікропроцесор запускає в рух електроприводи для зміщення платформи з матрицею.

Ще, у випадку оптичної стабілізації, використовуються швидкісні мікроконтролери. Вони можуть зчитувати до 1000 показів за 1 секунду і подають команду на зміну положення додаткової лінзи.

### **1.5. Чутливі елементи, що використовуються у системах стабілізації**

Для стабілізації відео можуть використовувати пристрій IMU (Inertial Measurement Unit, інерційний вимірювальний пристрій, ІВП) [4]. До його складу можуть входити наступні елементи:

- гіроскопи – пристрої, що вимірюють позицію обертання відносно довільно обраної системи координат;
- акселерометри – пристрої, що вимірюють інерційне прискорення ;
- магнітометри – пристрої, що вимірюють напруженість магнітного поля.

Акселерометри та гіроскопи встановлюють трійками. Вони мають бути розташовані так, щоб їх осі вимірювання були ортогональні одна одній для однозначного визначення динамічної орієнтації об'єкта в просторі.

Встановлення магнітометрів є опціональним і в рамках задачі стабілізації нас не цікавить, оскільки їх роль полягає у покращенні розрахунку орієнтації в системах визначення ставлення і напрямку (курсовертикаль) в поєднанні з GPS.

IMU часто встановлюють як в самі камери так і в інші пристрої, що містять камери – смартфони, планшети, дрони, автомобілі, VR-гарнітури, роботів, системи безпеки тощо. Це дає можливість застосувати для стабілізації відео в реальному часі IMU пристрій. Проте, якщо вбудованого сенсора немає, можна міцно закріпити такий модуль і на поверхню камери. Це дає змогу здійснити стабілізацію відео на

етапі постобробки, комбінуючи класичні методи, що використовують зображення з відео, з даними з ІМУ.

Слід зазначити, що в алгоритмах стабілізації дані з ІМУ використовуються у якості додаткових, а не основних вхідних даних. Більш широке використання дані з ІМУ пристроїв отримали у алгоритмах стабілізації з використанням нейронних мереж та глибинного навчання.

Акселерометри використовуються для вимірювання вібрацій об'єкта. На сучасних літаках, ракетах, супутниках, машинах акселерометри ще застосовуються як індикатори площини горизонтальних гіростабілізуючих платформ та інших пристроїв. Вони повинні мати високі точність і чутливість, великий діапазон вимірюваних прискорень і лінійність характеристики, стабільність показань і нечутливість до вібраційних і ударних дій, до зміни температури і тиску навколишнього середовища.

Існують такі види акселерометрів:

- ємнісні,
- струнні,
- п'єзоелектричні та інші[5].

Всі вони відрізняються за такими параметрами, як чутливість, діапазон вимірювань, стійкість до впливу зовнішніх факторів, габарити, собівартість тощо.

Акселерометри в системах стабілізації відіграють важливу роль у вимірюванні та компенсації рухів і вібрацій платформи, на якій розташована камера.

Акселерометри призначені для:

1. Компенсації рухів - завдяки вимірюванню прискорення, акселерометри дозволяють визначити, як рухається платформа, до якої прикріплена камера, і компенсувати цей рух для забезпечення стабільності.

2. Корекція траєкторії - акселерометри використовуються для корекції руху камери в реальному часі. Вони допомагають врахувати впливи, такі як рух платформи або інші коливання чи фактори впливу, що можуть виникнути під час руху.

Також треба зазначити, що акселерометри часто інтегруються з іншими датчиками, такими як гіроскопи, для отримання комплексної інформації про рух платформи та орієнтацію в просторі.

Вібраційний гіроскоп – пристрій, здатний реагувати на зміну орієнтації основи, на якій його встановлено, відносно інерційного простору. Простіше кажучи, це пристрій, що містить швидкообертове тверде тіло, яке має три обертальні ступені свободи, тобто можливість обертання навколо трьох взаємно-перпендикулярних осей.

Вісь у тілі (роторі) гіроскопа, навколо якої гіроскопу надано швидкого обертання, називають головною віссю гіроскопа або віссю власного обертання.

Гіроскоп має три характерні властивості:

- стійкість напрямку головної осі в інерційному просторі – тобто здатність гіроскопа ефективно опиратися зовнішнім діям, які прагнуть змінити напрямок його головної осі у просторі;

- прецесії – якщо на гіроскоп діє постійний момент сил, який прагне змінити напрямок головної осі, то головна вісь набуває обертання з постійною кутовою швидкістю у площині, яка проходить через головну вісь і вісь прикладеного моменту сил;

- нутації – якщо на гіроскоп подіє ударний імпульс сил, який прагне змістити напрямок його головної осі, то головна вісь починає здійснювати коливання, описуючи у просторі конічну поверхню з вершиною у точці підвісу.

Усі ці властивості суттєво визначаються величиною кутової швидкості власного обертання гіроскопа та його моментом інерції [6].

Сучасні гіроскопи ґрунтуються на вимірюванні вібраційних та хвильових параметрів резонаторів різних типів.

Вібраційні гіроскопи бувають:

- п'єзоелектричні;
- хвильово-твердотільні;
- камертонні;
- Вібраційні роторні;
- МЕМС- гіроскопи.

Принципи їхньої дії ґрунтуються на ефектах Саньяка, Ферма, Брайана (інерції стоячих хвиль у пружному кільці та у осе симетричних оболонках), ефекті інерції поляризації пружних хвиль зсуву тощо.

Прилади, що використовують властивості гіроскопа, застосовуються в ряді галузей науки і техніки, зокрема в системах навігації і системах керування рухомих транспортних засобів (суден, літальних і космічних апаратів, ракет, торпед тощо), а також в мобільних пристроях, зокрема, в мультикоптерах, фотокамерах і відеокамерах (для управління стабілізацією зображення), в смартфонах та ін.

## **1.6. Висновки до розділу 1**

У цій частині роботи було детально розглянуто питання процесу стабілізації та автоматизованої системи забезпечення стабілізації. Було описано актуальність обраного напрямку дослідження, особливості обраної галузі, та надано усі необхідні дані для розуміння важливості теми.

Розглянуто сфери застосування систем стабілізації, їх функціональність та те як вони забезпечують цю функціональність. Описано параметри та характеристики стабілізаторів. Визначено, що для кожної з сфер застосування існують різні вимоги та стандарти до технічних характеристик системи стабілізації. Особливою актуальності такі системи набули для використання зйомки з рук або для систем зйомки з БПЛА, або навіть для керування БПЛА з потоковим відео у режимі реального часу.

. Було наведено перелік технічних засобів стабілізації оптичних приладів, кожен з яких має різну фізичну природу, вартість та галузь застосування. Але, не зважаючи на це, існує потреба у розробці нових технологій та вдосконаленні вже існуючих, тому що актуальність використання фото- та відеотехніки у нашому світі зростає з кожним днем.

## **2. РІЗНОВИДИ МЕТОДІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ. ЧУТЛИВІ ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ. ВИКОРИСТАННЯ ГІРОСКОПУ В СИСТЕМІ СТАБІЛІЗАЦІЇ КАМЕРИ**

### **2.1. Розгляд видів стабілізації**

У цій частині роботи буде детально розглянуто питання видів стабілізації. Буде наведено певний вид стабілізації і додано опис до нього, після чого буде побудовано порівняльну таблицю характеристик.

#### **2.1.1. Цифрова (електронна) стабілізація**

Робота систем цифрової (електронної) стабілізації ґрунтується на програмних алгоритмах поліпшення якості, які визначають зсув зображення і компенсують його за рахунок обрізання країв кадру вихідного зображення. В цьому разі для побудови зображення використовується вся площа сенсора, але створюється своєрідний кроп - зображення зменшується аж до 40 % від початкового розміру, а частина пікселів резервується під його можливий зсув у межах фактично знятого кадру. Простіше кажучи, при тремтінні камери картинка плаває по поверхні матриці від одного краю до іншого. Негативні впливу на якість зображення також проявляються у створенні перешкод при використанні цифрового зума і втрати деталізації зображення як при фото-, так і при відеозйомці. Продуктивність систем цифрової стабілізації оцінюється можливістю виграти від 1 до 5 ступенів експозиції під час зйомки з рук в умовах несприятливого освітлення. Більш ефективними альтернативами цифрового стабілізатора є оптичні та матричні системи стабілізації.

#### **2.1.2. Цифрова стабілізація з використанням гіроскопічних сенсорів**

При такому виконанні принцип роботи алгоритму схожий на попередній варіант. Відмінність полягає у тому, що в середині камери встановлено спеціальний чип DSP, який фіксує її фізичне переміщення. Вимірювання здійснюються за

допомогою гіроскопічних сенсорів або акселерометрів. Ці вимірювання надходять на процесор відеокамери, де враховуються при компенсації діючої вібрації. Отже алгоритм не просто програмно фіксує область зображення, але й намагається утримати його в центрі. Величини лінійних та кутових переміщень камери враховуються для кожного кадру. І для будь-якого, навіть незначного зміщення корпусу камери, визначається напрямок та величина. Тому процесор для будь-якого кадру з відеоряду має інформацію: куди необхідно змістити поточне зображення, щоб при суміщенні з попередніми кадрами виходила чітка незмазана картина [5].

Технічні переваги і недоліки такого способу у цілому аналогічні варіанту з використанням програмного алгоритму стабілізації: камера не змінюється в габаритах, не вимагає додаткових вкладень, але частина чутливого сенсора займається алгоритмом. Разом із зростанням ефективності компенсації вібрації зростають вимоги до якості реалізації алгоритму. Адже неправильне використання показань із гіроскопічного сенсора може значно погіршити підсумкову картинку. А його вихід із ладу повністю виключає можливість стабілізувати зображення надалі. Але й результати, що демонструються цим способом, значно перевершують попередній варіант [5].

У такому варіанті цифрової стабілізації камери використовуються гіроскопічні сенсори для вимірювання фізичних переміщень пристрою у процесі руху. Загалом цей метод стабілізації може бути ефективним при правильній реалізації може бути ефективним при правильній реалізації та при оптимальних умовах використання.

### **2.1.3. Оптична стабілізація**

Принцип дії систем оптичної стабілізації кардинально відрізняється від цифрового способу. В об'єктив вводиться додатковий елемент (наприклад, рухома лінза), який за допомогою електричного приводу відхиляється в протилежну сторону відносно оптичної осі об'єктива.

Необхідний рівень зсуву визначають 2 спеціальних датчика вимірювання кутової швидкості (по вертикалі і по горизонталі), оснащені гіроскопами. А команду на зміну положення додаткової лінзи подає швидкісний мікроконтролер, що зчитує

до 1000 показів за 1 секунду. У підсумку, з точки зору матриці, проєкція зображення залишається нерухомою.

Продуктивність систем оптичної стабілізації оцінюється можливістю виграти від 2 до 5 ступенів експозиції під час зйомки з рук в умовах несприятливого освітлення.

До переваг оптичних систем стабілізації відносять їх високу ефективність, особливо під час роботи з довгофокусними об'єктивами, а також надання можливості побачити зображення в стабілізованому вигляді ще до натискання на кнопку спуску затвора.

До недоліків можна віднести надання впливу на світлосилу об'єктива через наявності додаткових лінз в оптичній схемі і більш високу вартість пристроїв.

#### **2.1.4. Оптична стабілізація зображення в об'єктиві**

При оптичній стабілізації використовується та сама логіка, що й у попередньому випадку. У середині самого об'єктива встановлюється модуль з гіроскопами або акселерометрами, які вимірюють рух камери. Але це переміщення вже компенсується в середині самого об'єктива, за рахунок керування положенням основи з оптичним елементом за допомогою електродвигунів. Тобто, в об'єктиві розташована лінза, яка не реагує на зовнішню вібрацію і зберігає своє положення у просторі незмінним. Тому і на матрицю відеокамери надходить статичне зображення кадра, оскільки на віддалені об'єкти вібрація не діє. Завдяки такому принципу, оптична стабілізація і дозволяє досягти найкращих результатів у компенсації зовнішньої вібрації. Крім того, може гаситися не тільки шумова вібрація з широким діапазоном амплітуд і частот, але і паразитні гармонійні коливання. Найважливішою перевагою оптичних методів перед цифровими є використання сенсора повністю, без обрізання частини зображення. Але ефективність методу безпосередньо пов'язана з точністю вимірювання переміщення та швидкістю його компенсації. Отже першорядну важливість грають гіроскопічні сенсори і двигуни об'єктива. Для забезпечення достатньої точності необхідно, по-перше, суттєве збільшення розмірів самого об'єктива, а по-друге, ще більш значне збільшення його



вартості. Тому цей метод, зазвичай, реалізується лише у дорогих операторських відеокамерах. Цілком ймовірно, що це пов'язано з тим, що за таку вартість результат не виправдовує вкладень. Крім того, додатковий оптичний елемент може негативно позначатися і на наступних експлуатаційних характеристиках системи відеоспостереження: чутливість, стабільність роздільної здатності [5].

У даному випадку побудови системи стабілізації використовуються гіроскопічні сенсори або акселерометри які розташовані у середині об'єктива камери. Однак компенсація відбувається не на рівні матриці камери а у середині самого об'єктиву.

Цей метод є досить ефективним для стабілізації зображення, але його використання має певне обмеження вартістю та розмірами об'єктиві. Такі системи є досить дорого вартісними. Але такі системи є дуже точними, надійними та забезпечують високу стабільність роботи.

### **2.1.5. Оптична стабілізація зображення у камері**

Для усунення недоліків попереднього методу, пов'язаних з великими розмірами об'єктива, оптичний рухомий елемент може поміщатися в середину самої відеокамери. Сучасний технологічний розвиток дозволяє фіксувати матрицю так, щоб вона не переміщувалася за коливаннями корпусу. Таким чином, компенсується вібрація. У тому числі, стає можливим компенсувати кутові переміщення. Такий підхід дозволяє використовувати будь-який об'єктив, навіть із оптичною стабілізацією, тим самим надаючи недосяжну будь-яким попереднім варіантам стабільність зйомки. Технічним недоліком є менший, порівняно з оптичною стабілізацією, діапазон компенсованих амплітуд коливань. Так переміщення матриці, швидше за все, не достатньо при зйомці з довгофокусним об'єктивом або з великим зумом [5].

У цьому методі оптичної стабілізації зображення оптичний рухомий елемент розташований у самій відеокамері, що дозволяє уникнути певних обмежень щодо розміру об'єктиву, як це було у попередньому методі. Цей метод дозволяє

використовувати різні об'єктиви, забезпечуючи універсальність у процесі зйомки, але як наслідок існує обмеження щодо діапазону компенсації.

### **2.1.6. Стабілізована платформа**

Остаточним вирішенням проблеми вібрації є використання зовнішніх стабілізованих платформ. Принципово це та ж рухома платформа з матрицею, що відпрацьовує коливання корпусу. Але замість матриці тут виступає весь пристрій. Завдяки такому підходу знімається проблема з малими розмірами активних елементів конструкції. Адже, оскільки камера встановлюється на таку платформу, розміри сенсорів, двигунів та обчислювальних елементів не обмежені. А значить можна досягти максимальної швидкодії, точності та рівня компенсації вібрації, не зважаючи на габарити та споживану потужність. Крім того, на таку платформу можуть бути встановлені будь-які камери [5].

Можна зазначити, що цей метод стабілізації використовує зовнішню стабілізовану платформу для компенсації вібрацій та рухів, що надає перевагу у забезпечення ширших діапазонів можливостей, зокрема і у питанні використання камер.

Цей метод дуже добре вирішує проблему впливу вібрацій, дозволяючи використовувати різні типи камер, та при цьому забезпечувати високий рівень стабільності у випадку різних робочих умов.

### **2.1.7. Матрична стабілізація**

На відміну від оптичних систем, додатковий елемент для придушення вібрацій, трясіння рук і компенсації коливань при матричній стабілізації розташовується безпосередньо в корпусі фотокамери. І це не що інше, як сама матриця, закріплена на рухомій стабілізуючій платформі. Компенсація траєкторії зміщення камери здійснюється шляхом переміщення платформи з сенсором в площині, перпендикулярній до оптичної осі об'єктива.

Управляючий мікропроцесор на основі отриманих даних з датчиків вимірювання кутової швидкості і гіроскопічних сенсорів запускає в рух електроприводи для зміщення платформи з матрицею.

Найважливішою перевагою систем матричної стабілізації зображення є можливість роботи з будь-якими об'єктами. У зв'язці з камерою матричної стабілізації будь-яка оптика стає стабілізованою.

А більш прогресивні системи підтримують ще й подвійну стабілізацію: за допомогою оптичного стабілізатора всередині об'єктива і за допомогою технології зсуву матриці.

На користь матричних стабілізаторів також говорить мінімальний рівень спотворень одержуваних зображень, відсутність впливу на світлосилу оптики і безшумність під час роботи.

Камери з технологією зсуву матриці зазвичай коштують дорожче своїх аналогів. Але варто пам'ятати про те, що вони позбавляють від необхідності використання стабілізованої оптики, даючи змогу істотно заощадити на придбанні об'єктива.

## 2.2. Розгляд переваг та недоліків методів стабілізації

Нижче показано порівняльну таблицю описаних у попередньому підрозділі видів стабілізації.

Таблиця 2.1. Переваги та недоліки різних видів стабілізації [5]

| Тип стабілізації | Переваги   | Недоліки  |
|------------------|--|---|
| Оптична          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- немає втрати площі зони огляду</li> <li>- широкий діапазон компенсованої амплітуди та частоти вібрації</li> <li>- об'єктив може бути використаний з будь-якою камерою з відповідним кріпленням</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- підвищена вартість</li> <li>- збільшені розміри об'єктива</li> <li>- додатковий елемент в об'єктиві може вплинути на параметри зйомки</li> </ul> |

Продовження таблиці 2.1. Переваги та недоліки різних видів стабілізації [5]

|                                     |   |  |
|-------------------------------------|---|--|
| Цифрова                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- алгоритм може бути закладений практично у будь-яку камеру</li> <li>- поширеність на ринку</li> <li>- можливе використання окремого процесора для підвищення якості роботи алгоритму</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- часткова стабілізація коливань</li> <li>- використання лише частини зображення</li> <li>- можливе погіршення деталізації зображення внаслідок роботи алгоритму</li> </ul> |
| Цифрова з використанням гіросенсора | <ul style="list-style-type: none"> <li>- більш широкий діапазон компенсованої амплітуди і частоти вібрації, ніж у цифрового способу</li> <li>- можливе використання окремого процесора для підвищення якості роботи алгоритму</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- підвищена вартість камери</li> <li>- використання лише частини зображення</li> </ul>  |
| Рухова матриця з гіросенсором       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- не збільшує габарити камери</li> <li>- малі вібрації компенсуються з високою точністю</li> <li>- дозволяє стабілізувати переміщення практично у будь-яких напрямках</li> <li>- не обмежує вибір об'єктива</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- низька ефективність при великих фокусних відстанях</li> <li>- малий діапазон компенсованої амплітуди та частоти вібрації</li> <li>- найдорожче рішення</li> </ul>         |
| Стабілізована платформа             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- компенсація практично будь-якої вібрації</li> <li>- підходить для будь-якої камери</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- великі габарити</li> </ul>  |

Ця таблиця надає порівняльний огляд переваг та недоліків кожного з методів стабілізації, тим самим надає можливість персонально визначати оптимальний вибір в залежності від конкретних вимог та умов використання.

Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки, але кожен з них може мати практичне застосування виходячи з питань дотримання необхідних технічних вимог.

### **2.3. Чутливий елемент автоматизованої системи стабілізації**

Автоматизована система стабілізації камери включає в собі ряд чутливих елементів, які надають системі можливість виявляти та реагувати на рухи, вібрації, тряску тощо.

Основними чутливими елементами у системі стабілізації можуть виступають наступні:

1) гіроскопи - вимірюють кутову швидкість обертання. Зміна кутової швидкості вказує на рух камери, і ця інформація використовується для визначення необхідної компенсації;

2) акселерометри - вимірюють лінійне прискорення, яке виникає унаслідок руху камери. Ці вимірювальні дані використовуються для вимірювання показників руху зокрема встановлювати напрямок, визначення амплітуди;

3) інфрачервоні сенсори - виявляють теплове випромінювання, що відповідно вказує на наявність перешкод у навколишньому середовищі, що може бути корисним для корекції у системах стабілізації;

4) магнітні датчики - визначають напрямок та інтенсивність магнітного поля, що у свою чергу дозволяє визначити орієнтацію камери в просторі;

5) енкодери - призначені для вимірювання зміщення або кутових змін у положенні об'єкта, що можна використовувати для визначення та корекції положення камери.

Використання розглянутих чутливих елементів у системі стабілізації камери дозволить забезпечити точність, стабільність та надійність роботи системи. Вони можуть використовуватися спільно, а також працювати окремо і незалежно один від одного.

## 2.4. Гіроскоп, як чутливий елемент у системі стабілізації

У системах стабілізації використання гіроскопів є необхідним для того, щоб мати можливість вимірювання значення зміни орієнтації об'єкта в просторі та подальшого вирівнювання положення - стабілізації.

Гіроскопи використовуються для того, щоб визначити кутову швидкість обертання. Варто зазначити, що у великій кількості сучасних системах стабілізації використовуються МЕМС-гіроскопи, які мають малі габаритні розміри, низьку вагу та низький рівень споживання енергії при цьому забезпечуючи хороший рівень точності.

Наприклад розглянемо використання гіроскопа у квадрокоптері. У даному випадку гіроскоп призначений для того, щоб визначати значення зміни кутової швидкості, щоб система стабілізації могла корегувати положення літального апарату у просторі та як це необхідно для правильної роботи.

Гіроскопи можуть бути такими:

1) механічні - робота таких гіроскопів ґрунтується на принципах класичної механіки. Вони включають обертаючий диск, що зберігає кутовий момент імпульсу;

2) МЕМС - такі гіроскопи використовують мікроелектромеханічні системи, які представляють собою невеликі датчики, які здатні реагувати та зміну положення та орієнтації об'єкта в просторі. Такі гіроскопи набули широкого поширення в різних сучасних малогабаритних системах.

3) лазерні - такі гіроскопи використовують принцип, який заснований на вимірюванні зсуву фази світла, що рухається відносно об'єкта в області, яка обертається. Відповідно такі гіроскопи мають високу точність, та мають поширене застосування а авіаційних приладах, важкій техніці та інших галузях і системах де дуже важливо забезпечити високу точність роботи системи.

## 2.5. Висновки до розділу 2

У даній частині роботи було розглянуто питання методів стабілізації застосування яких поширено у цій галузі. Зокрема розглянуто оптичну, цифрову, матричну та стабілізовану платформу.

Кожен з цих методів був детально проаналізований та описаний, а також записаний у таблиці для порівняння характеристик, визначення недолік, переваг та особливостей кожного методу.

Було окремо розглянуто чутливі елементи, які можуть бути використані у системах автоматизованої стабілізації, зокрема це гіроскопи, акселерометри, інфрачервоні сенсори, магнітні датчики, енкодери. Детально описано можливості застосування кожного з них.

Особливу увагу було приділено гіроскопічному чутливому елементу у контексті системи автоматизованої стабілізації камери. Розглянуто принцип його роботи, особливості вимірювання та функціональність.

### 3. ГІРОСКОПІЧНИЙ СТАБІЛІЗАТОР. МЕХАНІЧНА ТА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛІ, ОСОБЛИВОСТІ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ

#### 3.1. Одновісний силовий гіроскопічний стабілізатор

Даний підрозділ присвячено розгляду питання одновісного силового гіроскопічного стабілізатора (ГС) та опису його функціональності.

Кінематична схема такого одновісного силового ГС показана на рис. 3.1. Розглянемо основні елементи такої системи [7]:

- двоступеневий гіроскоп (1) з датчиками кутів (2) та моментів (7);
- платформа (3) з об'єктом стабілізації (4);
- підсилювач стабілізації (6) та двигун стабілізатора (5).

Для того, щоб мати можливість вимірювати кутові коливання об'єкта, на якому встановлений даний ГС, по осі обертання платформи розміщують датчик кута 8.

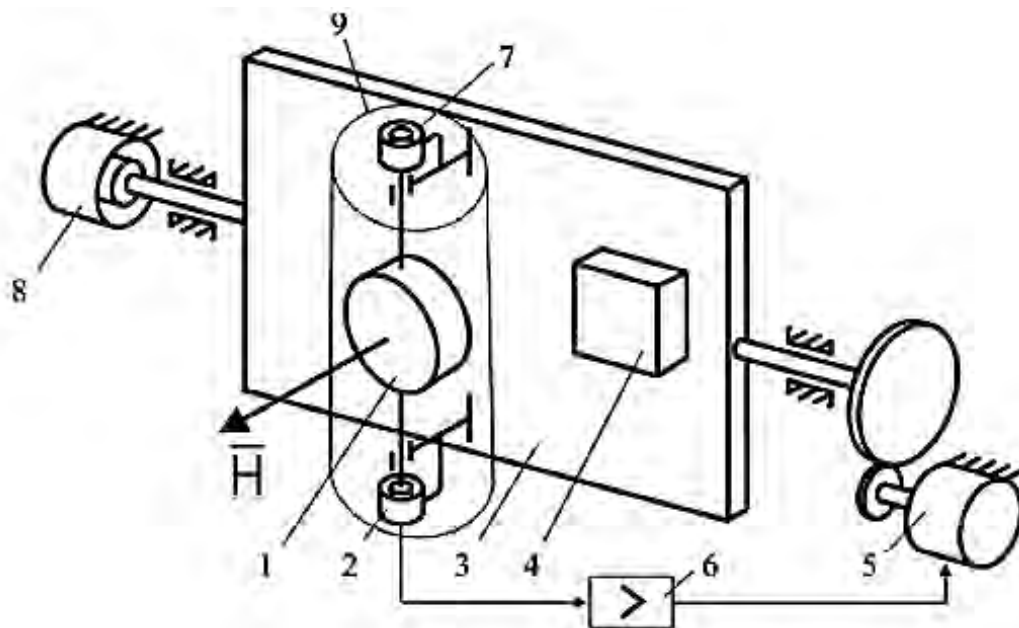


Рисунок 3.1. Кінематична схема одновісного силового ГС [7]:

1 - гіроскоп; 2 - датчик моменту; 3 - платформа; 4 - об'єкт стабілізації; 5 - двигун стабілізації; 6 - підсилювач стабілізації; 7 - датчик кутів; 8 - датчик команд; 9 - гіроблок.



Розглянемо роботу принцип роботи схема одновісного силового ГС більш детально. На рис. 3.2 зображено структурну схему гіростабілізатора.

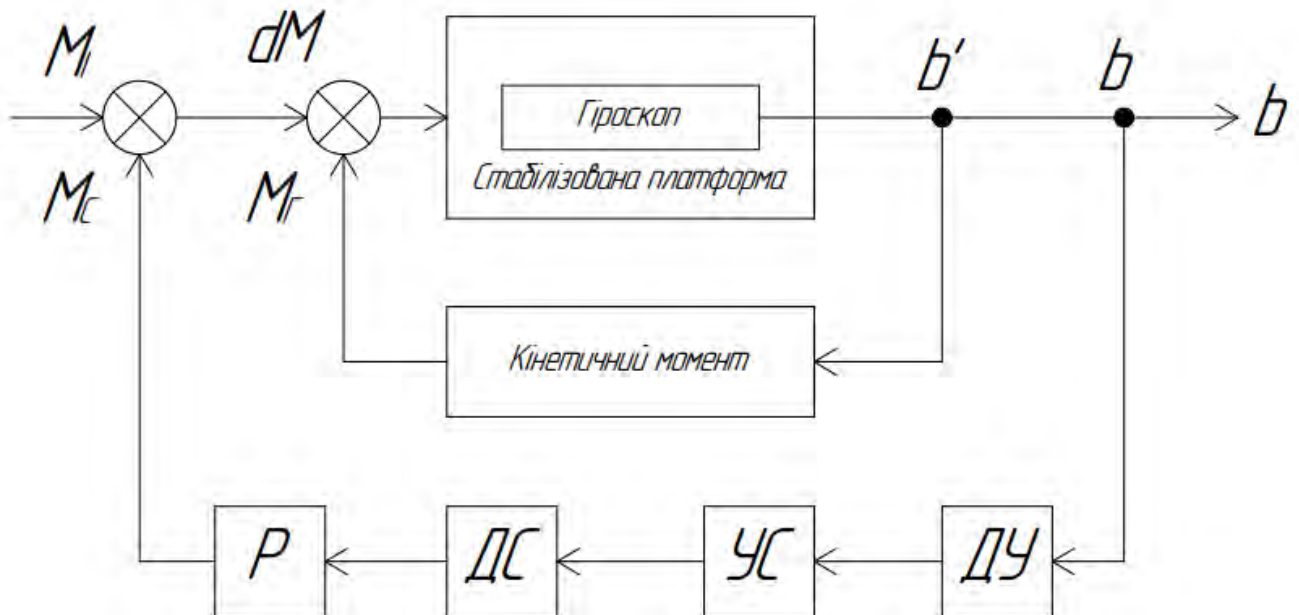


Рисунок 3.2. Структурна схема гіростабілізатора [8]

Гіроскоп розміщується на платформі таким чином, щоб у положенні спокою вісь чутливості була паралельна до вісі стабілізації. Гіроскоп разом з датчиками кутів, двигунами стабілізатора та іншими складовими елементами виконуються у вигляді окремого приладу - гіроблоку [7].

Відповідно, що вихідний сигнал з датчика кута гіроблока, пропорційний куту повороту гіроскопа навколо осі прецесії. Сигнал подається на вхід підсилювача, від якого в подальшому надходить на керовану обмотку двигуна стабілізації [7].

Поєднання гіроскопу, датчика кута, підсилювача вихідного сигналу та двигуна з редуктором є системою стабілізацією. Відповідно маємо ланцюг стабілізації з послідовністю даних складових компонентів.

Варто розглянути принцип роботи ГС. Маємо платформу і гіроскоп, які перебувають у стані спокою, та в певний момент на платформу починає впливати збурюючий момент  $M_1$ . Весь процес стабілізації можна умовно розділити на три етапи, які розглянемо нижче.

Перший етап представляє собою початок повороту гіроскопу навколо осі z з кутовою певною швидкістю, відповідно:

$$\beta = \frac{M_1}{H}. \quad (3.1)$$

На рис. 3.3 показано кінематичну схему першого етапу стабілізації.

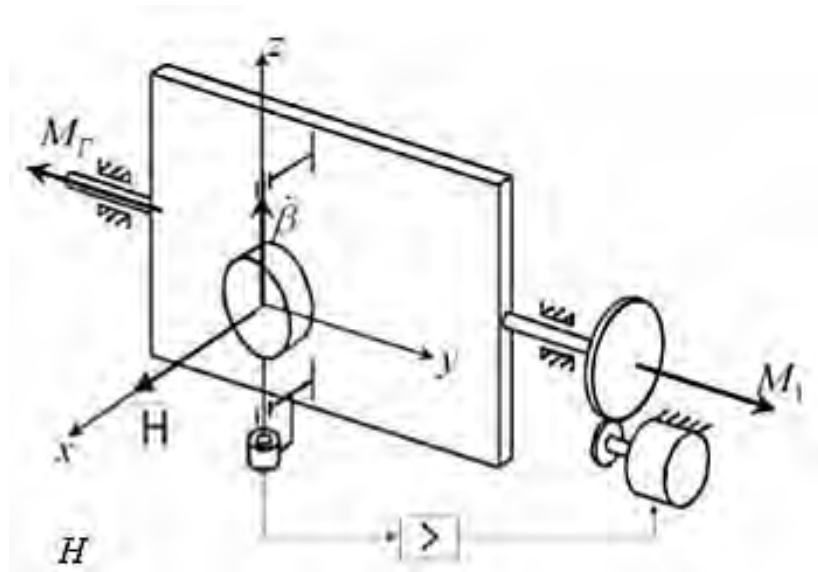


Рисунок 3.3. Кінематична схема першого етапу стабілізації [8]

Завдяки прецесії гіроскопа виникає гіроскопічний момент  $M_{\Gamma} = H \cdot \beta$ , який впливає на платформу і за значенням дорівнює зовнішньому моменту:

$$M_{\Gamma} = H \cdot \beta = H \cdot \frac{M_1}{H} = M_1 \quad (3.2)$$

Сумарна дія цих моментів на платформу дорівнює нулю, відповідно маємо наступний вираз:

$$\Delta M = M_1 - M_{\Gamma} = 0 \quad (3.3)$$

Так як в рамках прецесійного пояснення гіроскоп є без інерційний, то вважатимемо, що дана рівність досягається майже миттєво і платформа не встигає відхилитися від початкового положення. На даному етапі платформа стабілізується безпосередньо гіроскопічним моментом [8].

Вже на другому етапі процесу стабілізації в міру прецесії гіроскопа з кутовою швидкістю  $\beta^I$ , який повертається на кут  $\beta$  і з датчика кута (ДК) починає зніматися

сигнал, який підлягає посиленню у блоці підсилення [8]. На рис. 3.4 показано кінематичну схему другого етапу стабілізації.

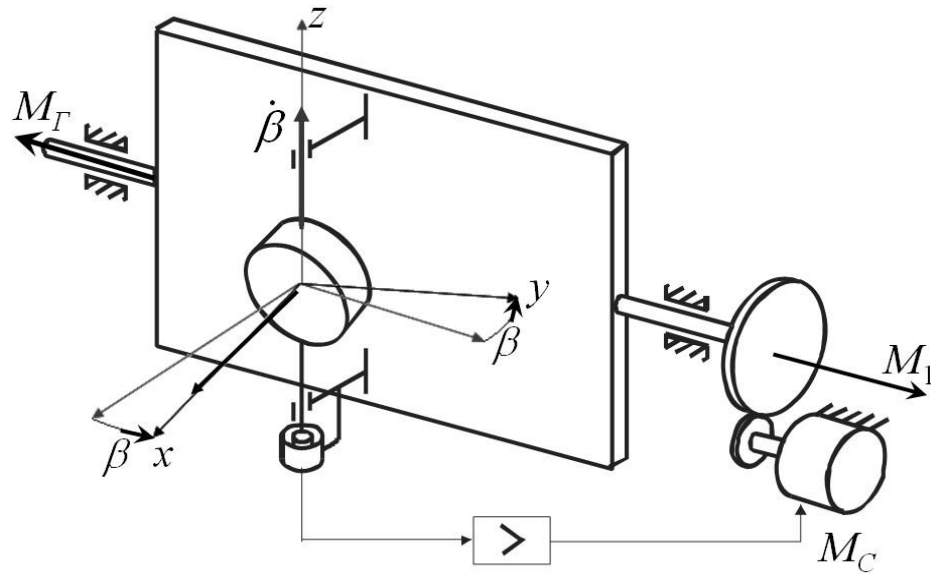


Рисунок 3.4. Кінематична схема другого етапу стабілізації

Двигун системи стабілізації, який в свою чергу прикладає до платформи момент, що спрямований протилежно зовнішньому моменту. Відповідно маємо наступний вираз:

$$M_c = K_{ду} \cdot K_y \cdot K_{дс} \cdot \beta = K \cdot \beta \quad (3.4)$$

де  $i$  - передаточне число редуктора;

$K_{ду}$ ,  $K_y$ ,  $K_{дс}$  - коефіцієнти передачі двигуна стабілізації, підсилювача і датчика кута відповідно;

$K$  - коефіцієнт посилення ланцюга стабілізації.

Відповідно маємо сумарний момент, що діє на платформу. Даний вираз показано нижче:

$$\Delta M = M_1 - M_G - M_c \quad (3.5)$$

Так як до впливу на платформу зовнішнього моменту  $M_1$  додається ще й вплив моменту  $M_c$  - момент двигуна, то кутова швидкість буде розраховуватися за наступним виразом:

$$\beta^I = \frac{M_1 - K \cdot \beta}{H} \quad (3.6)$$

Відповідно на другому етапі сумарний вплив на платформу буде розраховуватися наступним чином:

$$\Delta M = M_1 - H \cdot \frac{M_1 - K \cdot \beta}{H} - K \cdot \beta = 0 \quad (3.7)$$

Вже на третьому етапі процесу стабілізації при подальшому збільшенні кута  $\beta$  момент МС двигуна стабілізації зростає до величини зовнішнього моменту  $M_1$  [7].

При цьому прецесія гіроскопа припиниться, гіроскопічний момент  $M_g$  рівний нулю, а його вплив на платформу цілком урівноважується двигуном. Відповідно маємо наступний вираз:

$$\Delta M = M_1 - M_c = M_1 - K \cdot \beta_{ст} = 0 \quad (3.8)$$

де  $\beta_{ст}$  - кут, на який повернувся гіроскоп за час усталення процесу стабілізації.

Відповідно на останньому етапі стабілізації платформа стабілізується тільки двигуном. Процес встановлення гіроскопа в положення  $\beta_{ст}$  закінчується за соті частки секунди, а величина  $\beta_{ст}$  не перевищує одиниць градусів [8].

Відповідно маємо наступні рівності:

$$\Delta M = M_1 - M_g - M_c = 0$$

$$\Delta M = M_1 - M_c = 0$$

$$\Delta M = M_1 - M_g = 0$$

Однією з найважливіших особливостей розглянутого процесу стабілізації є те, що зовнішній момент не викликає безперервної прецесії гіроскопа, а лише призводить до його повороту на кут  $\beta_{ст}$ , достатній для формування необхідної величини стабілізуючого моменту. Завдяки цьому, зникає можливість втрати стабілізуючих властивостей при тривалому зовнішньому впливі на платформу.

Оскільки гіроскоп тільки на початковому етапі виконує функції стабілізації, то в системі стабілізації може бути застосований гіроскоп з відносно невеликим кінетичним моментом [7].

### 3.2. Рівняння руху силового гіростабілізатора на нерухомій основі

У даній частині буде розглянуто питання рівняння руху силового гіростабілізатора на нерухомій основі.

Маємо кінематичну схему одновісного силового ГС, яка представлена на рис. 3.5, а та введемо наступну систему координат (рис. 3.5, б)) [8]:

$O_{\xi}, \eta, \zeta$  - система координат, пов'язана з основою;

$Ox_n, Oy_n, Oz_n$  - система координат, пов'язана з платформою;

$O_{xyz}$  - система координат, пов'язана з гіроскопом (гіровузлом).

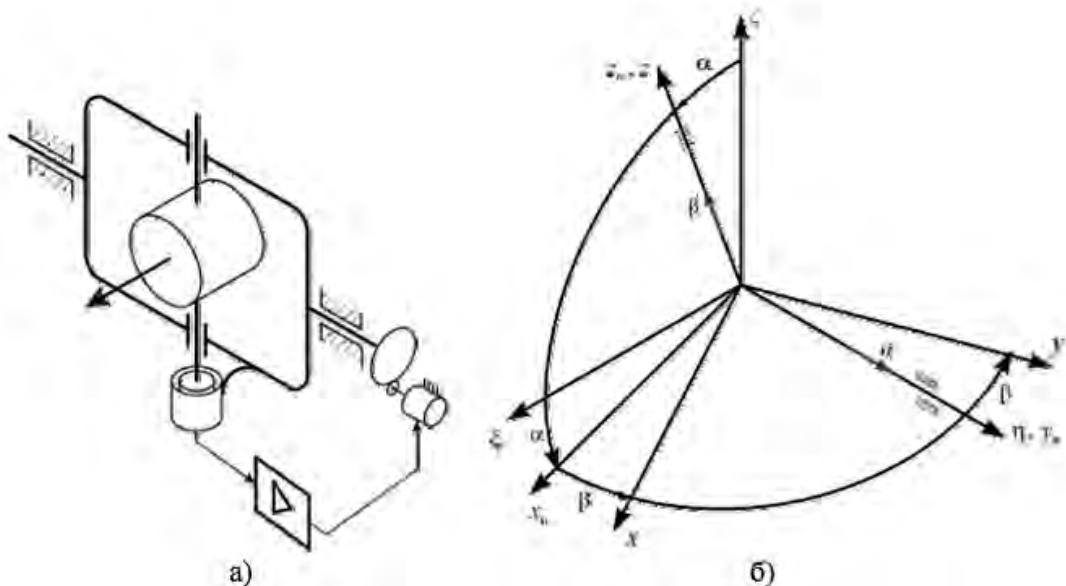


Рисунок 3.5. Кінематична схема одновісного силового ГС і системи координат [8]

Відповідно маємо наступні позначення:

$\alpha$  - кут повороту стабілізованою платформи щодо основи;

$\beta$  - кут прецесії;

$M_1, M_2$  - збурюючі моменти щодо осей стабілізації і прецесії;

$A$  - сумарний момент інерції стабілізованою платформи, гіроблока і ротора двигуна стабілізації приведенного до осі стабілізації щодо осі  $Oy_n$ ;

$B$  - момент інерції гіроскопа відносно осі прецесії;

$H$  - кінетичний момент гіроскопа;

$K$  - коефіцієнт підсилення ланцюга стабілізації;

$h$  - коефіцієнт демпфування щодо осі стабілізації.

Демпфування щодо осі стабілізації визначається в основному за рахунок демпфування в двигуні стабілізації [8].

Коефіцієнт демпфування оцінюється за наступною формулою:

$$h_{dc} = \frac{M_{\pi}}{n_{xx}}, \quad (3.9)$$

де  $n_{xx}$  – швидкість холостого ходу датчика моменту;

$M_{\pi}$  – пусковий момент двигуна.

Коефіцієнт демпфування визначається наступним чином:

$$h = i^2 \cdot h_{dc} \quad (3.10)$$

де  $h_{dc}$  - коефіцієнт демпфування двигуна стабілізації, який визначається по навантажувальній характеристиці двигуна;

$i$  – передаточне число редуктора.

Проекції кутової швидкості платформи (рами) на осі системи координат  $Ox_n y_n z_n$  мають наступні значення:

$$\omega x_n = 0$$

$$\omega y_n = \alpha^I$$

$$\omega z_n = 0$$

Відповідні проекції кутової швидкості гіровузла на осі системи координат  $Oxyz$  буде визначатися наступним чином:

$$\omega_x = \alpha^I \cdot \sin \beta \quad (3.11)$$

$$\omega_y = \alpha^I \cdot \cos \beta \quad (3.12)$$

$$\omega_z = \beta^I \quad (3.13)$$

Для виведення рівнянь руху одновісного силового гіростабілізатора варто використати метод кінетостатики (див. рис. 3.6).

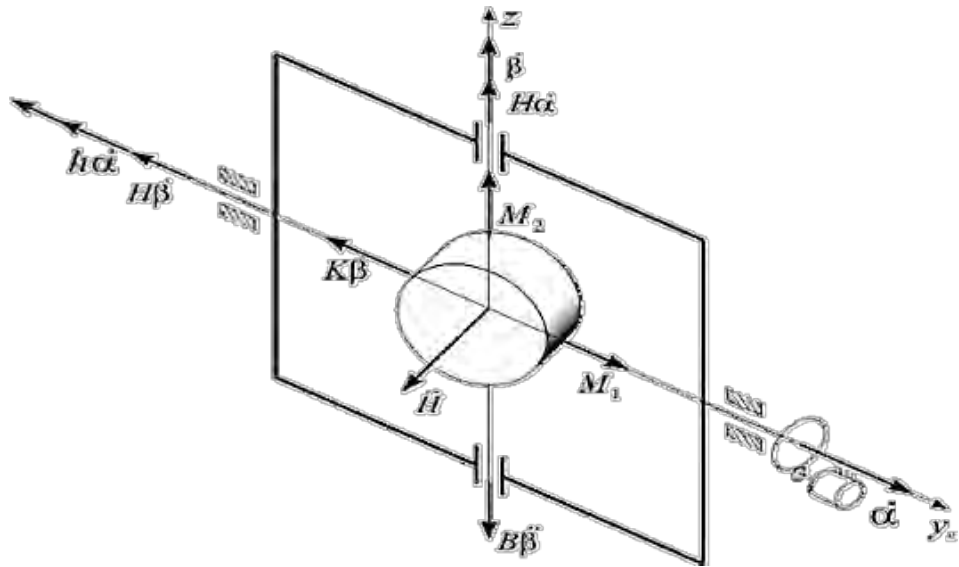


Рисунок 3.6. Моменти по осях стабілізації та прецесії

Сума моментів щодо вісі стабілізації визначається наступним чином [8]:

$$\sum \text{mom}_{y_n} = 0 \quad (3.14)$$

$$-A\alpha^{II} - h\alpha^I - H\beta^I \cos \beta - K\beta + M_1 = 0 \quad (3.15)$$

Відповідно сума моментів щодо осі прецесії визначається наступним чином:

$$\sum \text{mom}_z = 0 \quad (3.16)$$

$$-B\beta^{II} + H\alpha^I \cos \beta + M_2 = 0 \quad (3.17)$$

Перевизначимо дані рівняння і отримаємо наступний результат:

$$A\alpha^{II} + h\alpha^I + H\beta^I + K\beta = M_1 \quad (3.18)$$

$$B\beta^{II} - H\alpha^I = M_2 \quad (3.19)$$

До збурюючих моментів  $M_1$  і  $M_2$  можна віднести: моменти сил тертя в осях підвісу платформи і осях прецесії, моменти від неврівноваженості платформи і гіроскопа та інші.

Момент стабілізації в системі рівнянь прийнято без урахування постійних часу підсилювача і двигуна [8].

### 3.3. Розгляд структурної схеми та передаточних функцій силового ГС

Так як система стабілізації є автоматизованою системою, то вона повинна мати відповідну структурну схему та передаточні функції, які описують принцип роботи стабілізатора.

Застосуємо перетворення по Лапласу та будемо вважати початкові умови нульовим. У результаті отримаємо наступні вирази:

$$A \cdot p^2 \cdot \alpha(p) + h \cdot p \cdot \alpha(p) + H \cdot p \cdot \beta(p) + K \cdot \beta(p) = M_1(p) \quad (3.20)$$

$$B \cdot p^2 \cdot \beta(p) - H \cdot p \cdot \alpha(p) = M_2(p) \quad (3.21)$$

Розв'яжемо перше рівняння відносно  $\alpha(p)$ , а друге відповідно відносно  $\beta(p)$ . Матимемо наступні результати:

$$\alpha(p) = \frac{1}{A \cdot p^2} \cdot [M_1(p) - h \cdot p \cdot \alpha(p) - H \cdot p \cdot \beta(p) - K \cdot \beta(p)] \quad (3.22)$$

$$\beta(p) = \frac{1}{B \cdot p^2} \cdot [M_2(p) + H \cdot p \cdot \alpha(p)] \quad (3.23)$$

Систему автоматизації можна зобразити у вигляді відповідної структурної схеми, яка описує принцип роботи системи та ґрунтується на попередніх виразах. Відповідно маємо наступну структурну схему системи (див. рис. 3.7).

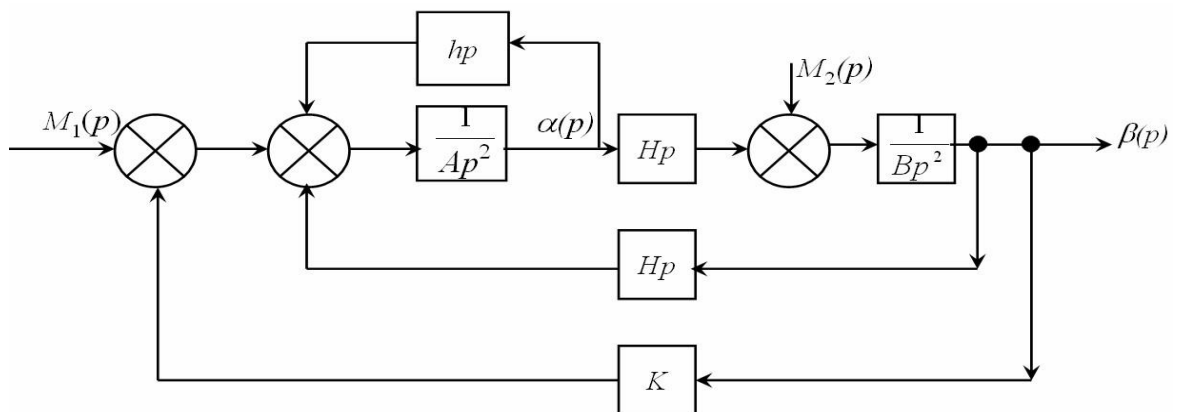


Рисунок 3.7. Структурна схема силового ГП

Наступним аспектом є визначення передаточної функції ГС. Відповідно треба зробити перетворення даної структурної схеми.



Передаточна функція гіростабілізатора буде мати вигляд:

$$W(p) = \frac{K_{дк}K_{п}}{Ap^2+hp+K_c} \quad (3.24)$$

Для визначення параметрів ГС потрібно отримати наступні передаточні функції:  $W_{\alpha_1 M_1}(p)$ ,  $W_{\alpha_1 M_2}(p)$  та  $W_{\beta_1 M_1}(p)$ .

Відповідно маємо наступні результати. Визначимо передаточну функцію з структурної схеми:

$$W_{\alpha_1 M_1}(p) = \frac{\frac{1}{Ap^2+hp}}{1+\frac{1}{Ap^2+hp} \cdot \left(\frac{H^2}{B} + \frac{HK}{Bp}\right)} = \frac{Bp}{ABp^3+Bhp^2+H^2p+HK} \quad (3.25)$$

Після наступного перетворення передаточна функція буде мати наступний вигляд:

$$W_{\alpha_1 M_2}(p) = \frac{Hp+K}{Bp^2} \cdot W_{\alpha_1 M_1}(p) = \frac{Hp+K}{p(ABp^3+Bhp^2+H^2p+HK)} \quad (3.26)$$

Наступним етапом отримуємо дану передаточну функцію:

$$W_{\beta_1 M_1}(p) = \frac{H}{Bp} \cdot W_{\alpha_1 M_1}(p) = \frac{H}{ABp^3+Bhp^2+H^2p+HK} \quad (3.27)$$

З визначених передаточних функцій видно, що при дії постійного збурюючого моменту  $M_1$ , статична похибка по координаті  $\alpha$  буде відсутньою.

Кут повороту гіровузла можна визначитися за виразом:

$$\beta_{ст} = \frac{M_1}{K} \quad (3.28)$$

Також при постійному змінюваному збурюючому моменті  $M_2$  з передаточної функції будемо мати наступний вираз:

$$\alpha^I = \frac{M_2}{H} = \omega_{dp} \quad (3.29)$$

На основі даного виразу можна зробити висновок, що у результаті дії збурюючого моменту по осі прецесії ГС обертається навколо осі стабілізації з кутовою швидкістю, що називається кутовою швидкістю дрейфу [9].

### 3.4. Поняття тривісних гіростабілізаторів

У даній частині розділу буде розглянуто питання тривісних гіростабілізаторів, їх особливостей та відмінностей від раніше розглянутого варіанту.

Тривісні гіростабілізатори відіграють важливу роль у процесі забезпечення стабілізації та управління об'єктами, які можуть здійснювати рух навколо трьох осей простору. Такі ГС використовуються у різних областях техніки.

Тривісні (просторові) гіростабілізатори (ТГС) необхідні для стабілізації і управління платформою, на якій можуть бути встановлені різні пристрої, навколо трьох осей стабілізації. Управління літаками, балістичними ракетами, носіями космічних апаратів і самими космічними апаратами вимагає підтримки в просторі строго заданого кутового положення вимірників прискорення руху (н'ютометрів) при дуже жорстких вимогах до похибок орієнтації. Таке завдання має виконуватися в умовах великих перевантажень, вібрацій, змін температури та інших факторів, які супроводжують політ [10].

Основною частиною ТГС є стабілізований елемент 1 (або стабілізована платформа), що має посадочні поверхні для монтажу гіроскопів стабілізації, н'ютонометрів або гіроінтеграторів системи управління, рівнів (маятників) і оптичних пристроїв (призм) початкової виставки [10].

Маємо відповідну схему тривісного гіростабілізатора (див. рис. 3.8).

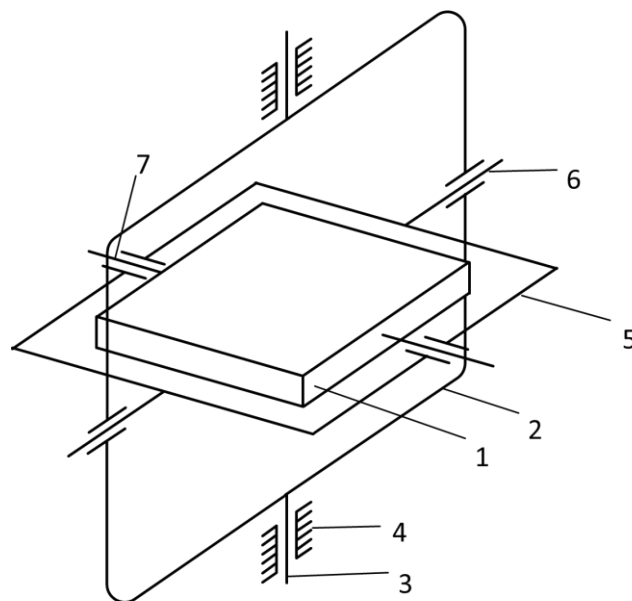


Рисунок 3.8. Схема тривісного гіростабілізатора [11]

Для ізоляції стабілізовану платформу від кутового руху об'єкта, використовують систему піввісей і рам, що утворюють триступеневий карданний підвіс. Зовнішня рама 2 такого підвісу за допомогою цапф 3, що утворюють зовнішню вісь підвісу, встановлена в підшипниках корпусу 4.

Внутрішня рама 5 своїми цапфами 6, що представляють проміжну вісь підвісу, укріплена в підшипниках зовнішньої рами. Платформа своїми цапфами 7, що утворюють внутрішню вісь підвісу, встановлена в підшипниках внутрішньої рами. Зовнішня і проміжна, проміжна і внутрішня осі конструктивно перпендикулярні, а в початковому положенні досягається, як правило, перпендикулярність всіх осей підвісу платформи. Для вирішення завдання забезпечення платформі трьох ступенів кутового руху можуть бути використані і інші типи підвісів [11].

Варто зазначити, що ТГП дуже важливі для систем, що вимагають високої точності та стабільності роботи. Це обумовлено їх використанням у таких галузях техніки та сферах як забезпечення керування літальними апаратами, космічними апаратами, ракетами та іншими об'єктами. Вони здатні забезпечити збереження строго задане кутове положення в умовах високого перевантаження, вібрацій, температурних змін, зміни тиску та інших зовнішніх факторів.

### **3.5. Висновки до розділу 3**

У даному розділі було детально розглянуто загальні теоретичні та математичні аспекти проєктування силових ГС. У розділі було представлено рівняння руху для силового гіростабілізатора на нерухомій основі, враховуючи кінематичну схему та систему координат. Було визначено ключові параметри які описують та характеризують процес стабілізації та роботи системи.

Було зосереджено увагу на описі структурної схеми та передаточних функцій силового ГС.

Окремо було розглянуто поняття тривісних гіростабілізаторів як сучасних пристроїв для забезпечення оптимальної точності. ТГС відіграють надважливу роль у забезпечення процесу стабілізації та керуванні і знайшли своє застосування у низці галузей де важливим параметром кожного приладу є його точність.

Загалом розділ присвячено опису та огляд теоретичних та практичних аспектів ГС, що є важливим для подальшого процесу проектування.

## 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГІРОСКОПІЧНОГО СТАБІЛІЗАТОРА

### 4.1 Теоретичні відомості та мета дослідження

Дослідження даного роду призначені для отримання практичних результатів щодо застосування досліджуваного об'єкта, у даному випадку, силового гіростабілізатора, отримання значень щодо його точності, діапазону допустимих значень, чутливості, впливу зовнішніх чинників тощо.

Швидкість - представляє собою фізичну величину, яка відповідає відношенню переміщення тіла до проміжку часу, за який відбувалось дане переміщення досліджуваного тіла. Певні ЧЕ здатні визначати значення швидкості, прискорення та інші.

Прискорення - представляє собою векторну фізичну величину, яка є похідною від швидкості по часу і за своєю величиною відповідає зміні швидкості тіла за визначену одиницю часу.

На даний момент існує великий перелік технічних засобів для вимірювання прискорення. Для такого роду вимірювань можуть використовуватися гіроскопи, акселерометри, які у свою чергу можуть бути:

- ємнісними;
- оптичними;
- п'єзоелектричними;
- МЕМС тощо.

У залежності від даного виду визначаються його конструктивні особливості, метод отримання вихідної величини, точність, габаритні розміри, чутливість тощо. Одними із важливих наслідків цього аспекту є вплив на діапазон вимірювання, стійкість до зовнішніх факторів.

На сьогодні широко використовуються засоби вимірювання та контролю з високою точністю та швидкістю, здатністю працювати в складних екологічних умовах та простою конструкцією.

## 4.2. Вибір приводу стабілізації

Важливим етапом побудови системи стабілізації є вибір та обґрунтування вибору складових, зокрема особливу увагу варто приділити двигунам, які безпосередньо здатні забезпечити процес стабілізації.

Перший варіант, який можна розглянути це використання двигуна ДМ-5. Даний двигун є двигуном постійного струму колекторного типу, забезпечує максимальний крутний момент 143 Н·см. Дані особливості даного двигуна можуть надати можливість забезпечити мінімізацію впливу збурюючих моменти по осі яка підлягає стабілізації.

Розглянемо загальні технічні характеристики даного двигуна:

- опір обмотки -  $18 \pm 3$  Ом;
- напруга живлення - 12 В;
- крутизна характеристики -  $0,011 \pm 0,02$  Н·м/мА;
- номінальний струм - 0,6 А;
- нелінійність моменту від струму - 10%;
- сталість моменту по куту повороту - 10%;
- вага - 170 г;
- момент тертя - 0,07 Н·см;
- максимальна температура нагріву обмоток -  $130^\circ \text{C}$ ;
- температурний діапазон - від  $-60$  до  $+80^\circ \text{C}$ ;
- ресурс - 2000 годин;
- час безперервної роботи - 20 годин;
- номінальний зовнішній діаметр - 30 мм;
- товщина - 13,1 мм;
- діаметр валу - 8 мм;
- максимальний крутний момент - 143 Н·см.

У підсумку можна зазначити, що розглянутий двигун є досить хорошим, але варто розглянути інші двигуни, які також здатні забезпечити хорошу стабілізацію.

Розглянемо двигун GA14-N20 - представляє собою компактний редукторний двигун постійного струму та колекторного типу. Цей двигун здатний забезпечити оптимальну точність стабілізації забезпечивши нижчу вартість кінцевого продукту що може стати перевагою у деяких моментах.

Розглянемо технічні характеристики даного двигуна:

- крутизна характеристики - 0,008 Н·м / мА ;
- напруга живлення - 12 В;
- номінальний струм - 0,5 А;
- вага - 135 г;
- момент тертя - 0,05 Н·см;
- максимальна температура нагріву обмоток - 130 ° С;
- температурний діапазон - від -40 до +60 ° С;
- діаметр - 20 мм;
- довжина - 15 мм;
- діаметр вала - 4 мм;
- максимальний крутний момент - 112 Н·см.

У підсумку можна зазначити, що метою розробки даної системи є забезпечення високої точності стабілізації, тому оптимальний варіант для забезпечення вищої точності роботи системи стабілізації варто обрати двигун ДМ-5, так як він здатний забезпечити більший максимальний момент та більшу крутизну статичної характеристики, але відповідно може бути дорожчим у порівнянні з деякими іншими аналогами.

### 4.3. Розрахунок та вибір діаметру валу

На початку варто виконати перевірку діаметра валу обраного двигуна на відповідність номінальним навантаженням. При дії крутного моменту  $M_{кр}$  на вал, рекомендований діаметр визначається за формулою:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 M_{кр}}{\pi [\tau]}} \quad (4.1)$$

де  $[\tau]$  - допустиме дотичне напруження матеріалу валу.

Задля зменшення пружного мертвого ходу, у системах які потребують високої точності, кути за закручування перерізів валів один щодо одного обмежуються допустимим кутом закручування -  $\varphi$ .

Відповідно умова жорсткості валу при крученні визначається наступним чином:

$$[\varphi] \leq [\varphi]_{max} \quad (4.2)$$

Діаметр валу на закрученій ділянці визначається наступним чином:

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{32 L_B M_{кр}}{\pi G [\varphi]}} \quad (4.3)$$

де  $L_B$  - робоча довжина валу;

$G$  - модуль зсуву матеріалу.

Відповідно, якщо умова жорсткості при діаметрі валу  $d$  не виконується, то необхідно обрати більший з розрахованих діаметрів.

Допустимий кут повороту валу  $\varphi = 20 \frac{\pi}{540}$ . Зазначимо, що робоча довжина валу становить 50 мм.

Маємо матеріал валу - сталь 40, відповідно маємо наступне:

$$[\tau] = 25 \text{ МПа};$$

$$G = 8 \cdot 10^4 \text{ МПа}.$$

Маємо максимальне значення крутного моменту, що діє на вал і воно становить  $M_{кр} = 1.43 \text{ Нм}$ .

Діаметр валу, відповідно (4.3) буде розраховано за наступною формулою:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 1.43}{3.14 \cdot 25 \cdot 10^6}} = 6.63 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

А діаметр валу на закрученій ділянці (3.4.4) буде визначатися наступним чином:

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 0.05 \cdot 1.43}{3.14 \cdot 8 \cdot 10^{10} \cdot \frac{\pi}{540}}} = 6.05 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

У результаті розрахунку можемо сказати, що умова жорсткості виконується.

Беремо діаметр  $d = 6.63 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 6.63 \text{ мм}$  та обираємо з ряду стандартних розмірів значення діаметра валу  $d = 7 \text{ мм}$ .



#### 4.4. Вибір датчика кута

Наступним важливим етапом розробки системи стабілізації є вибір достатньо точного датчика кута. Варто зазначити що точність датчиків напряму впливає на точність стабілізації системи і тому до цього етапу варто підходити відповідально та строго порівнювати доступні варіанти.

Першим датчиком який розглянемо буде гіроскопічний датчик GY-401. Цей датчик побудований на базі електронного гіроскопу.

Такого роду датчик досить поширений, має непогані характеристики та досить низьку вартість.

Розглянемо технічні характеристики датчика:

- живлення - 5В;
- струм - 0,5 мА;
- діапазон лінійності характеристики -  $\pm 40^\circ$ ;
- крутизна вихідної характеристики - 4,6 мВ / кут. хв;
- ставлення залишкового сигналу до крутизни - 6,5 кут. хв;
- похибка лінійності характеристики -  $\pm 1\%$ ;
- маса - 60г;
- габаритні розміри - 20 мм/9 мм/2 мм.

Цей датчик є досить хорошим, але для якісного вибору елементної бази варто розглянути і інші варіанти.

Розглянемо датчик ENC-03J, який також представлений електронним гіроскопом. Цей датчик має досить високу швидкість відгуку, низьку напругу живлення та струм споживання.

Варто зазначити, що у зв'язку з кращими технічними характеристиками датчик має вищу вартість.

Розглянемо його технічні характеристики:

- напруга живлення - 2,7-5,5 В;
- струм - 0,5-15 мА;
- діапазон робочих температур - від -15 до +75 °С
- крутизна вихідної характеристики - 0,67 В/°;

- частота опитування - 50 гц;
- максимальна кутова швидкість -  $\pm 300$  °/с;
- похибка лінійності характеристики -  $\pm 1\%$ ;
- маса - 20г;
- габарити - 12/8/1 мм;

У підсумку можна сказати, що із двох розглянутих датчиків кута варто надати перевагу другому, а саме електричному гіроскопу ENC-03J. Даний гіроскоп має вищу ціну, але кращі технічні характеристики що дозволяє забезпечити кращу точність стабілізації.

#### **4.5. Підсилювач сигналу системи стабілізації**

Також система стабілізації повинна мати підсилювач сигналу, тому розглянемо декілька можливих варіантів підсилювача.

Перший підсилювач який буде розглянуто - підсилювач AS89000. Цей підсилювач дає можливість забезпечити достатньо високу точність та простоту інтеграції. Призначеним для використання в промислових умовах.

Розглянемо детальніше його технічні характеристики.

- інтерфейс - аналоговий вихід напруги;
- вхідний струм - 20 нА - 25 мА;
- коефіцієнт підсилення- 6,2;
- частоти сигналу - від 6 до 100 кГц;
- напруга живлення - 0,3 - 7,0 В;
- пакет - QSOP16;
- розмір- 4,90 x 6,00 x 1,75 мм;
- діапазон допустимих температур - від -40°C до 125°C.

Розглянемо ще один підсилювач, саме ТРА6404-Q1, який має досить хороші технічні характеристики та невисоку вартість.

Розглянемо його технічні характеристики:

- інтерфейс - аналоговий вихід напруги;
- вхідний струм - 0 - 20 мА;

- коефіцієнт підсилення - 4,8;
- частоти сигналу - до 50 кГц;
- напруга живлення - 5,0 В;
- розмір - 6 x 8 x 2.5 мм;
- діапазон температур - від -30°C до 75°C.

У підсумку можна сказати, що із розглянутих підсилювачів варто обрати AS89000. Цей вибір обумовлений тим, що він має більший коефіцієнт підсилення сигналу, що дозволить забезпечити кращий сигнал а відповідно і кращий рівень стабілізації, хоч буде в певній мірі дорожчим.

#### 4.6. Розрахунок передаточних функцій системи. Перехідні процеси

Маса пристрою включаючи підшипники і ротори двигуна стабілізації, датчики кута без урахування маси елементів живлення:  $m = 2.43$  кг. Загальна маса стабілізованої платформи та гірблків:  $m_{\Pi} = 1.43$  кг.

Сумарні моменти інерції стабілізованої платформи стабілізованої платформи та гірблків по трьох осях дорівнюють:

$$I_X = 572.9 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$I_Y = 164.5 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$I_Z = 565 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Відповідно до виразу (3.9), знайдемо коефіцієнт демпфування двигуна ДМ5. Задаємо величину швидкості холостого ходу:  $n_{\text{хх}} = 1000$  об/хв. Пусковий момент двигуна ДМ-5 складає  $M_{\Pi} = 0,143$  Н·м.

Тоді коефіцієнт демпфування буде:

$$h_{dc} = \frac{0,143}{1000} \cdot \frac{60}{2\pi} = 1,366 \cdot 10^{-3} (\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}) / \text{рад}.$$

Відповідно (3.10):

$$h = 0.001366 \cdot 25 = 0.03415 (\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}) / \text{рад}.$$

Передаточне число редуктора стабілізації задаємо  $i = 5$ , коефіцієнт перетворення мікроконтролеру  $K_{\text{МК}} = 0.298$  мА/В.

З виразу (3.4) обчислимо коефіцієнт стабілізації, підставивши вище приведені чутливості та перевівши їх в систему СІ:

$$K_c = K_{дк} K_{п} K_{мк} K_{дс} K_p = 0,67 \cdot 6,2 \cdot 0,298 \cdot 0,011 \cdot 5 = 0,06831 \text{ град/Нм};$$

Оскільки моменти інерції по кожній з вісей різні, передаточні функції для кожного з гіроблоків теж будуть різні, тому будемо розглядати їх як окремі прилади.

Скориставшись виразом (3.24), та підставивши чисельні дані, можна знайти передаточні функції по кожній з вісей стабілізації:

$$W_x(p) = \frac{K_{дк} K_{п} K_{мк}}{I_x p^2 + hp + K_c} = \frac{1,242}{0,05729p^2 + 0,03415p + 0,06831} \quad (4.4)$$

$$W_y(p) = \frac{K_{дк} K_{п} K_{мк}}{I_y p^2 + hp + K_c} = \frac{1,242}{0,01645p^2 + 0,03415p + 0,06831} \quad (4.5)$$

$$W_z(p) = \frac{K_{дк} K_{п} K_{мк}}{I_z p^2 + hp + K_c} = \frac{1,242}{0,0565p^2 + 0,03415p + 0,06831} \quad (4.6)$$

Перехідний процес - одна з найважливіших характеристик систем автоматичного управління, за виглядом якої можна судити про швидкодію системи, її стійкість та якість вцілому. Для визначення перехідного процесу скористаємося формулою:

$$h(t) = L^{-1}(W(p)) \quad (4.7)$$

Відповідно (4.7) та (4.4 - 4.6), отримаємо вирази для перехідних процесів кожного з гіроблоків:

$$h_x(t) = L^{-1}(W_x(p)) = L^{-1}\left(\frac{1,242}{0,05729p^2 + 0,03415p + 0,06831}\right) = \quad (4.8)$$

$$= -3,159j e^{(-0,0298 - 0,344j)t} (e^{(0,688j)t} - 1);$$

$$h_y(t) = L^{-1}(W_y(p)) = L^{-1}\left(\frac{1,242}{0,01645p^2 + 0,03415p + 0,06831}\right) = \quad (4.9)$$

$$= -5,935j e^{(-0,1038 - 0,636j)t} (e^{(1,272j)t} - 1);$$

$$h_z(t) = L^{-1}(W_z(p)) = L^{-1}\left(\frac{1,242}{0,0565p^2 + 0,03415p + 0,06831}\right) = \quad (4.10)$$

$$= -3,173j e^{(-0,0302 - 0,3464j)t} (e^{(0,6928j)t} - 1).$$

За результатами обчислень, були побудовані графіки перехідних процесів за допомогою програмного пакету Mathcad:

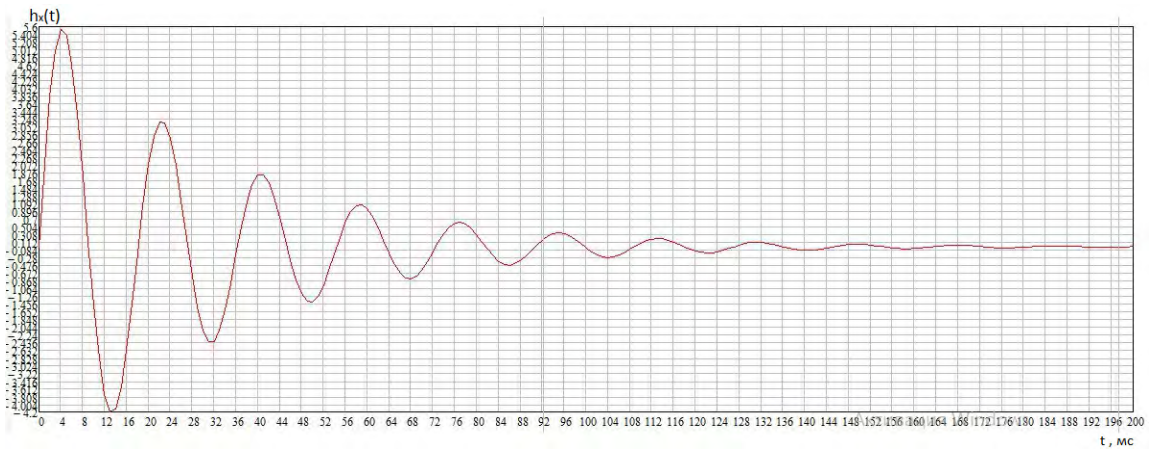


Рисунок 4.1. Графік перехідного процесу системи по вісі X

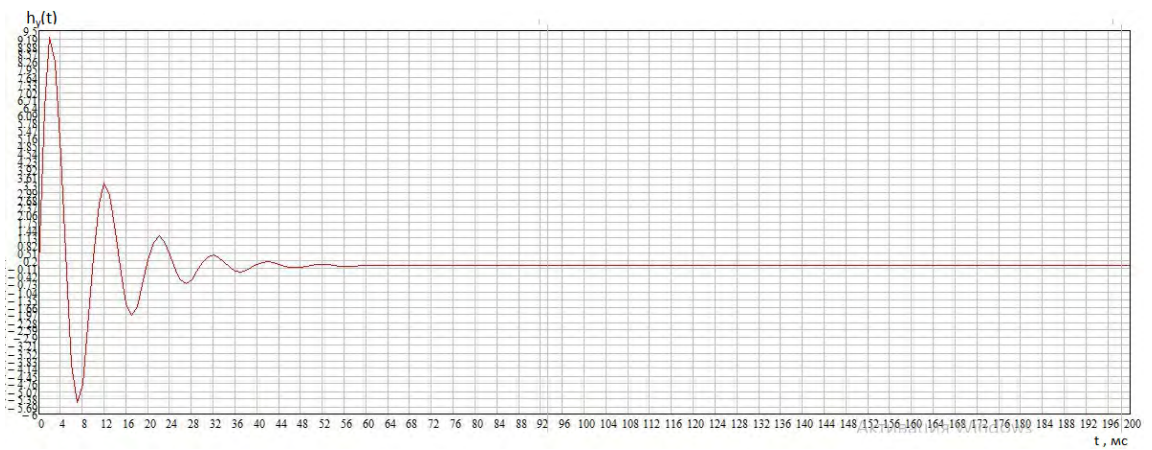


Рисунок 4.2. Графік перехідного процесу системи по вісі Y

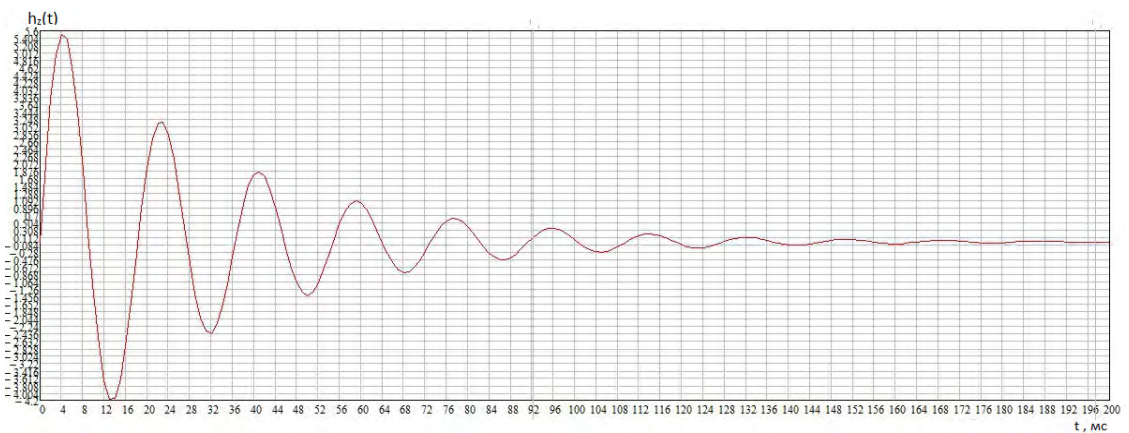


Рисунок 4.3. Графік перехідного процесу системи по вісі Z

Провівши попередній аналіз графіків перехідного процесу, можна сказати, що система, скоріше за все, буде стійкою, адже перехідний процес затухає. Задаємо динамічну похибку в 1%, та побудуємо перехідні характеристики із зазначенням області усталеного значення, для визначення часу перехідного процесу. Також визначимо декремент затухання.

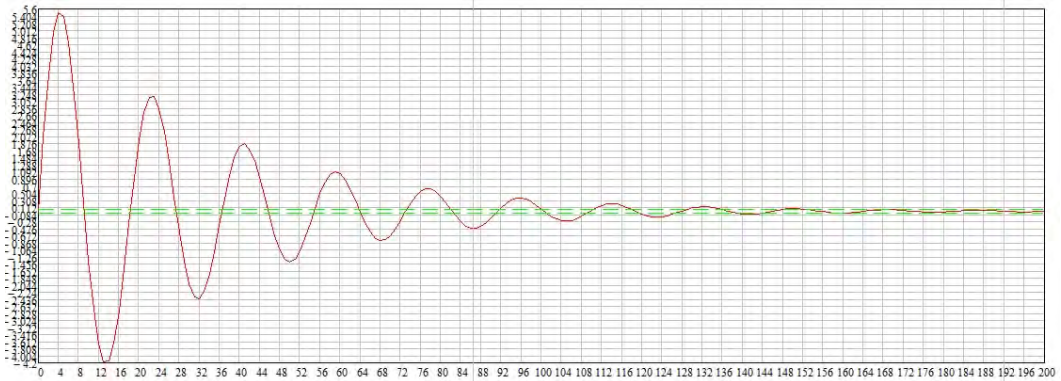


Рисунок 4.4.1. Графік перехідного процесу системи по вісі X

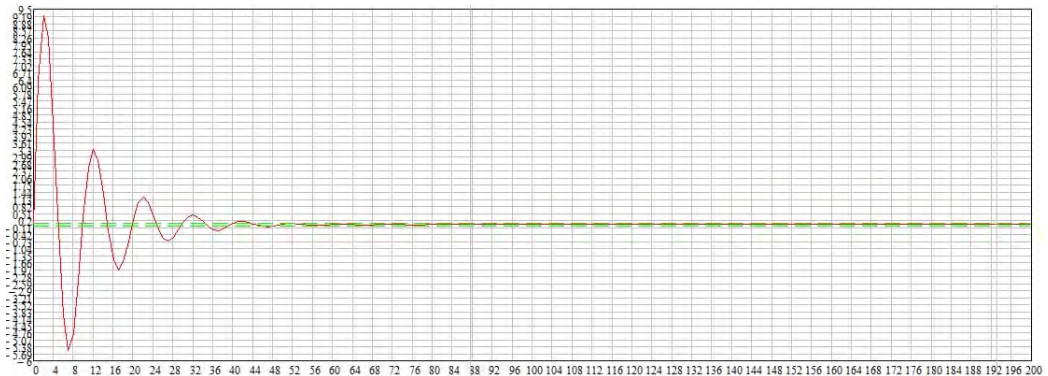


Рисунок 4.4.2. Графік перехідного процесу системи по вісі Y

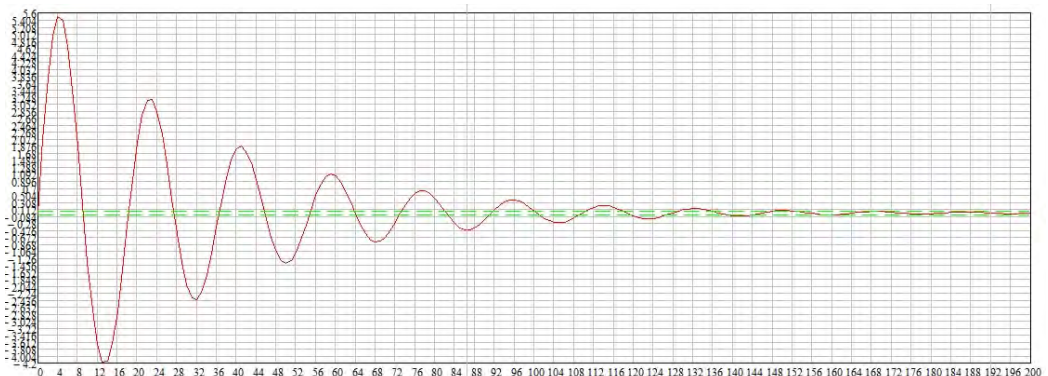


Рисунок 4.4.3. Графік перехідного процесу системи по вісі Z

Час перехідного процесу, який, в даному випадку, визначається як точка, коли крива перехідного процесу перетнула умовну лінію області усталеного значення і залишилася у цій області становить:

$$t_{пх} = 0.168 \text{ с};$$

$$t_{пy} = 0.56 \text{ с};$$

$$t_{пz} = 0.152 \text{ с};$$

Декремент затухання визначається за формулою:

$$\gamma = \frac{|h_{max1-хуст}|}{|h_{max1-хуст}|} \cdot 100\% \quad (4.11)$$

Отримуємо:

$$\gamma_x = 1.71;$$

$$\gamma_y = 2.612;$$

$$\gamma_z = 1.73.$$

Для визначення частотних характеристик нам необхідно перейти в частотну область. Для цього перепишемо рівняння (4.4 - 4.6) із заміною:  $p = j\Omega$ :

$$W_x(j\Omega) = \frac{1.242}{0.05729(j\Omega)^2 + 0.03415j\Omega + 0.06831} \quad (4.12)$$

$$W_y(j\Omega) = \frac{1.242}{0.01645(j\Omega)^2 + 0.03415j\Omega + 0.06831} \quad (4.13)$$

$$W_z(j\Omega) = \frac{1.242}{0.0565(j\Omega)^2 + 0.03415j\Omega + 0.06831} \quad (4.14)$$

Розкривши дужки (4.12 - 4.14) та згрупувавши дійсні числа та уявні числа окремо, далі потрібно помножити знаменники на комплексно-спряжені вирази .

Отримаємо:

$$\begin{aligned} W_x(j\Omega) &= \frac{1.242(-0.05729\Omega^2 + 0.06831 - 0.03415j\Omega)}{(-0.05729\Omega^2 + 0.06831 + 0.03415j\Omega)(-0.05729\Omega^2 + 0.06831 - 0.03415j\Omega)} = \\ &= \frac{-0.07115\Omega^2 + 0.0848}{(-0.01645\Omega^2 + 0.06831)^2 + 0.03415\Omega^2} - j \frac{0.04235\Omega}{(-0.01645\Omega^2 + 0.06831)^2 + (0.03415\Omega)^2}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_y(j\Omega) &= \frac{1.242(-0.1645\Omega^2 + 0.06831 - 0.03415j\Omega)}{(-0.01645\Omega^2 + 0.06831 + 0.03415j\Omega)(-0.01645\Omega^2 + 0.06831 - 0.03415j\Omega)} = \\ &= \frac{-0.0204\Omega^2 + 0.0848}{(-0.0565\Omega^2 + 0.06831)^2 + 0.03415\Omega^2} - j \frac{0.04235\Omega}{(-0.0565\Omega^2 + 0.06831)^2 + (0.03415\Omega)^2}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_z(j\Omega) &= \frac{1.242(-0.0565\Omega^2 + 0.06831 - 0.03415j\Omega)}{(-0.0565\Omega^2 + 0.06831 + 0.03415j\Omega)(-0.0565\Omega^2 + 0.06831 - 0.03415j\Omega)} = \\ &= \frac{-0.0702\Omega^2 + 0.0848}{(-0.0565\Omega^2 + 0.06831)^2 + 0.03415\Omega^2} - j \frac{0.04235\Omega}{(-0.0565\Omega^2 + 0.06831)^2 + (0.03415\Omega)^2}. \end{aligned}$$



Вирази АЧХ та ФЧХ можуть бути знайдені по формулам:

$$A_x(\Omega) = \sqrt{Re(W(j\Omega))^2 + Im(W(j\Omega))^2} \quad (4.15)$$

$$\Phi_x(\Omega) = \arctg\left(\frac{Im(W(j\Omega))}{Re(W(j\Omega))}\right) \quad (4.16)$$

Відповідно (4.15) та (4.16):

$$A_x(\Omega) = \sqrt{\left[\frac{-0.07115\Omega^2 + 0.0848}{(-0.05729\Omega^2 + 0.06831)^2 + (0.03415\Omega)^2}\right]^2 + \left[\frac{0.04235\Omega}{(-0.05729\Omega^2 + 0.06831)^2 + (0.03415\Omega)^2}\right]^2}$$

$$\Phi_x(\Omega) = \arctg\left(\frac{0.04235\Omega}{-0.07115\Omega^2 + 0.0848}\right);$$

$$A_y(\Omega) = \sqrt{\left[\frac{-0.0204\Omega^2 + 0.0848}{(-0.01645\Omega^2 + 0.06831)^2 + (0.03415\Omega)^2}\right]^2 + \left[\frac{0.04235\Omega}{(-0.01645\Omega^2 + 0.06831)^2 + (0.03415\Omega)^2}\right]^2}$$

$$\Phi_y(\Omega) = \arctg\left(\frac{0.04235\Omega}{-0.0204\Omega^2 + 0.0848}\right);$$

$$A_z(\Omega) = \sqrt{\left[\frac{-0.0702\Omega^2 + 0.0848}{(-0.0565\Omega^2 + 0.06831)^2 + (0.03415\Omega)^2}\right]^2 + \left[\frac{0.04235\Omega}{(-0.0565\Omega^2 + 0.06831)^2 + (0.03415\Omega)^2}\right]^2}$$

$$\Phi_z(\Omega) = \arctg\left(\frac{0.04235\Omega}{-0.0702\Omega^2 + 0.0848}\right).$$

За результатами були побудовані графіки АЧХ та ФЧХ за допомогою програмного пакету Mathcad:

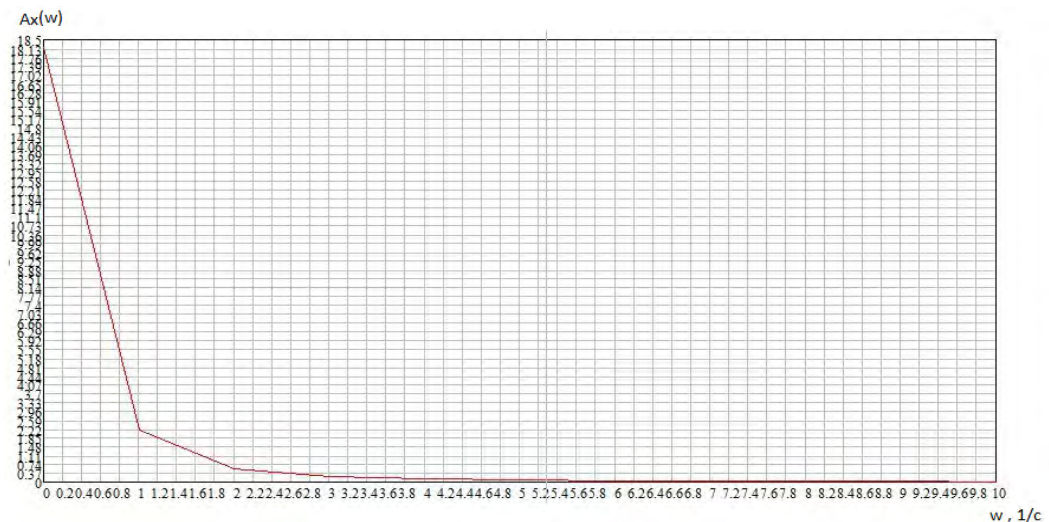


Рисунок 4.5. АЧХ системи по вісі X



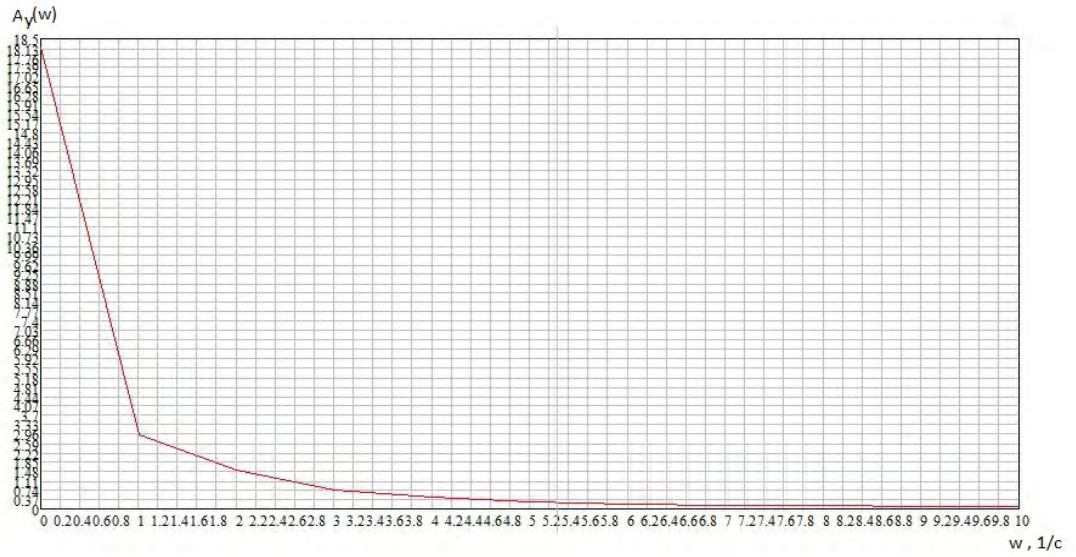


Рисунок 4.6. АЧХ системи по вісі Y

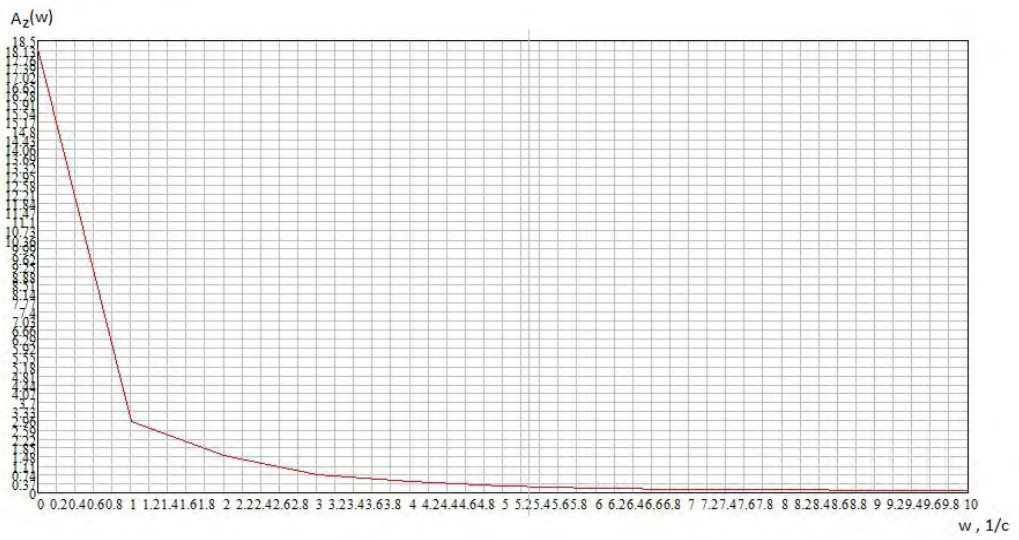


Рисунок 4.7. АЧХ системи по вісі Z

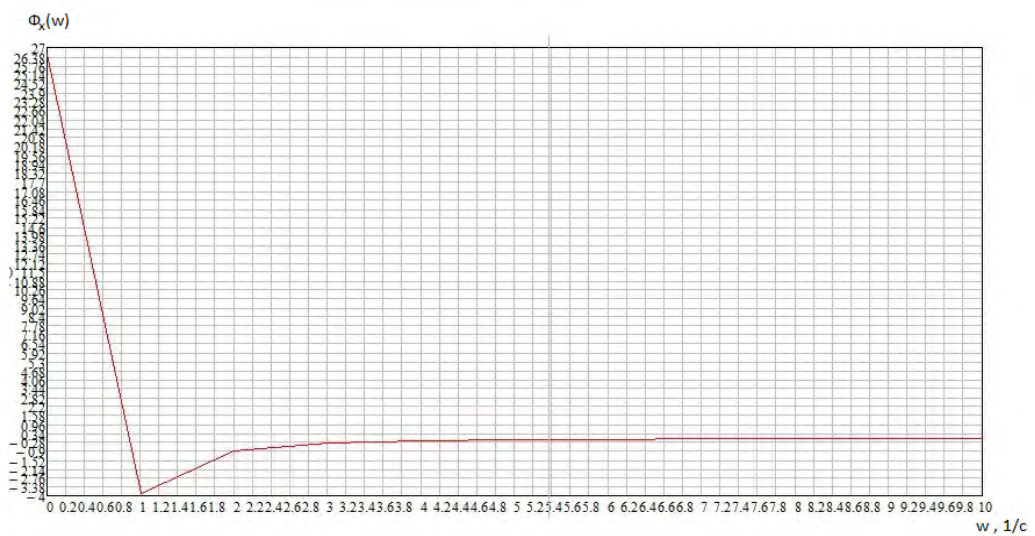


Рисунок 4.8. ФЧХ системи по вісі X

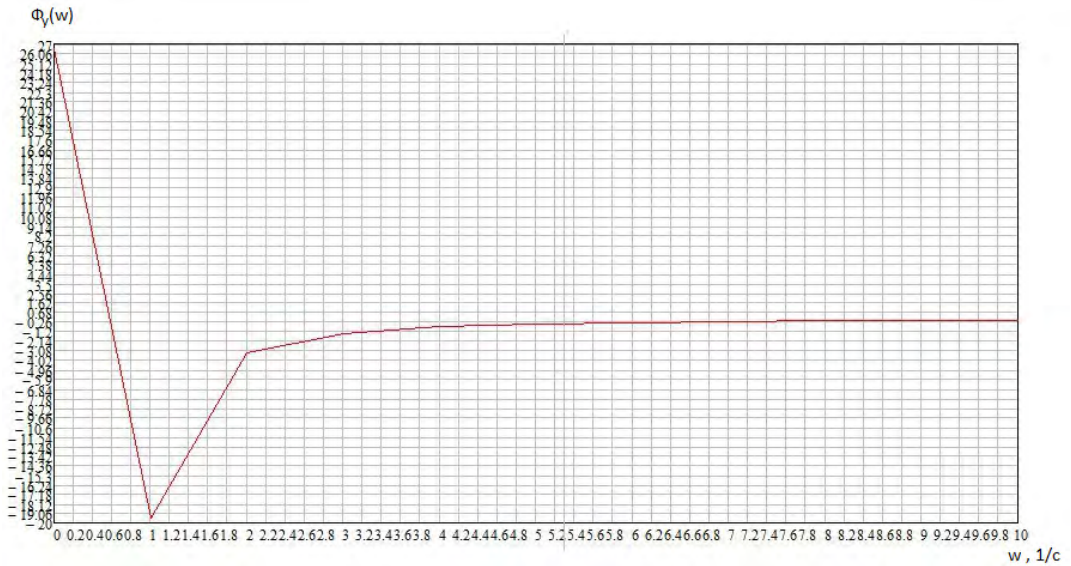


Рисунок 4.9. ФЧХ системи по вісі Y

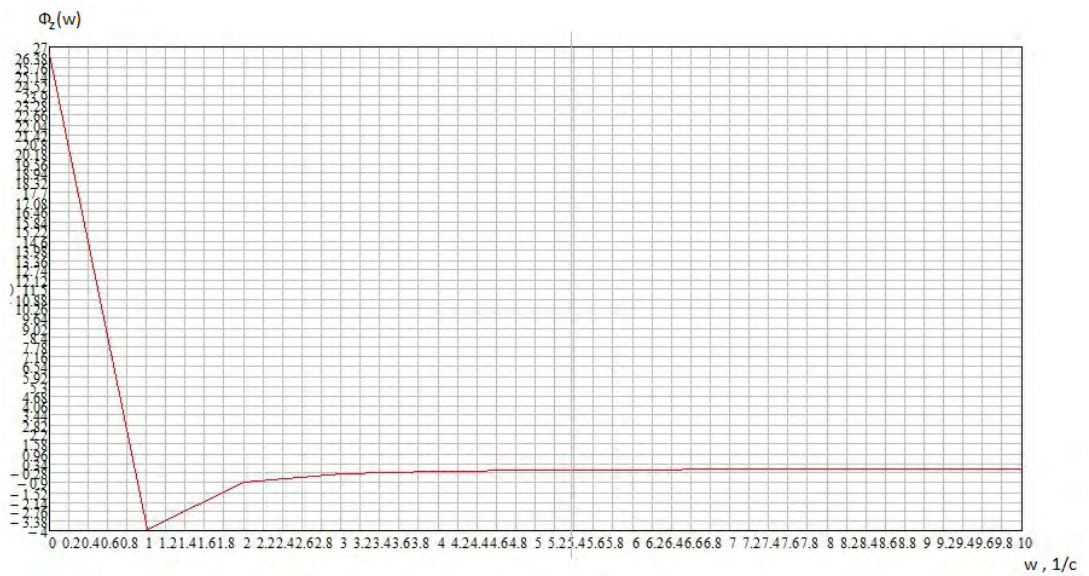


Рисунок 4.10. ФЧХ системи по вісі Z

#### 4.7. Стійкість системи

Для того, щоб визначити стійкості системи необхідно скористаємося критерієм Гурвіца. Відповідно передаточним функціям (4.4 - 4.6), поліноми характеристичних рівнянь мають вигляд:

$$D_x(p) = 0.5729p^2 + 0.03415p + 0.06831 \quad (4.17)$$

$$D_y(p) = 0.1645p^2 + 0.03415p + 0.06831 \quad (4.18)$$

$$D_z(p) = 0.565p^2 + 0.03415p + 0.06831 \quad (4.19)$$

Визначаємо визначники Гурвіца:

$$\Delta_1 = a_1;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3.$$

Умовою стійкості системи за критерієм Гурвіца є додатній знак усіх визначників Гурвіца. Відповідно, для системи другого порядку необхідною і достатньою умовою стійкості є лише додатній знак усіх коефіцієнтів характеристичного рівняння.

Як видно з поліномів (4.17 - 4.19) ця умова виконується.

Далі потрібно побудувати ЛАЧХ та ЛФЧХ системи. ЛАЧХ визначається за виразом:

$$L(\Omega) = 20\lg(A(\Omega)), \quad (4.20)$$

де  $A(\Omega)$  – АЧХ системи.

ЛФЧХ визначається за виразом:

$$f(\Omega) = 20\lg(\Phi(\Omega)), \quad (4.21)$$

де  $\Phi(\Omega)$  – ФЧХ системи.

З виразів (4.12 - 4.14) отримаємо:

$$L_x(\Omega) =$$

$$20\lg\sqrt{\left[\frac{-0.07115\Omega^2+0.0848}{(-0.05729\Omega^2+0.06831)^2+(0.03415\Omega)^2}\right]^2 + \left[\frac{0.04235\Omega}{(-0.05729\Omega^2+0.06831)^2+(0.03415\Omega)^2}\right]^2};$$

$$f_x(\Omega) = 20\lg(\arctg\left(\frac{0.04235\Omega}{-0.07115\Omega^2+0.0848}\right));$$

$$L_y(\Omega) =$$

$$20\lg\sqrt{\left[\frac{-0.0204\Omega^2+0.0848}{(-0.01645\Omega^2+0.06831)^2+(0.03415\Omega)^2}\right]^2 + \left[\frac{0.04235\Omega}{(-0.01645\Omega^2+0.06831)^2+(0.03415\Omega)^2}\right]^2};$$

$$f_y(\Omega) = 20\lg(\arctg\left(\frac{0.04235\Omega}{-0.0204\Omega^2+0.0848}\right));$$

$$L_z(\Omega) =$$

$$20\lg\sqrt{\left[\frac{-0.0702\Omega^2+0.0848}{(-0.0565\Omega^2+0.06831)^2+(0.03415\Omega)^2}\right]^2 + \left[\frac{0.04235\Omega}{(-0.0565\Omega^2+0.06831)^2+(0.03415\Omega)^2}\right]^2};$$

$$f_z(\Omega) = 20\lg(\arctg\left(\frac{0.04235\Omega}{-0.0702\Omega^2+0.0848}\right)).$$

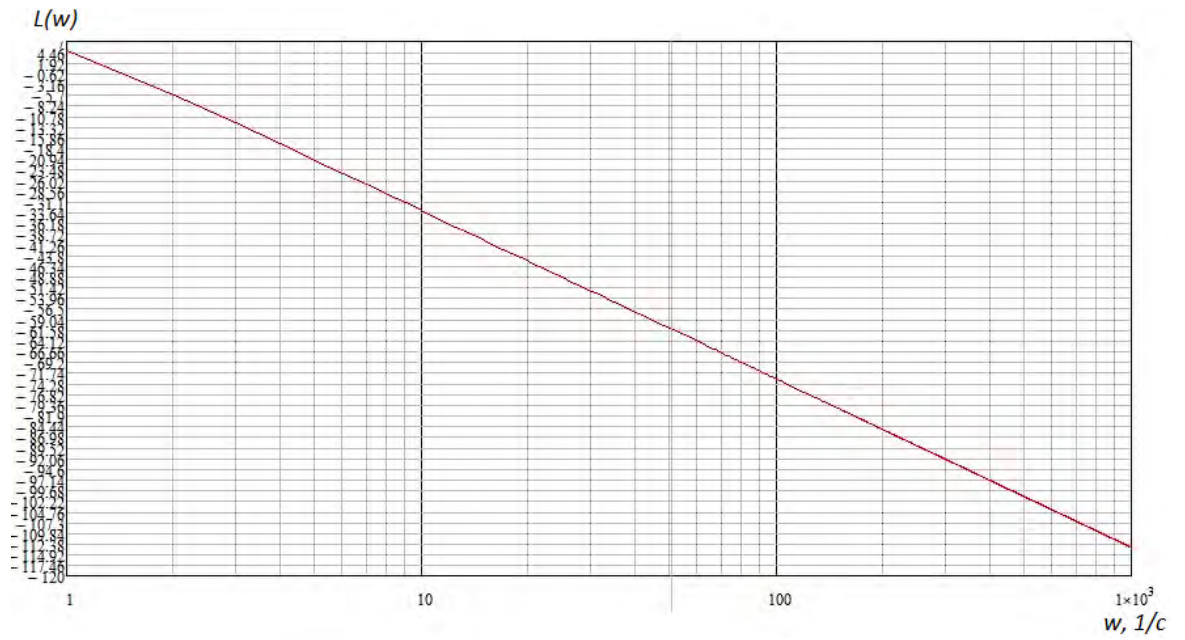


Рисунок 4.11. ФЧХ системи по вісі X

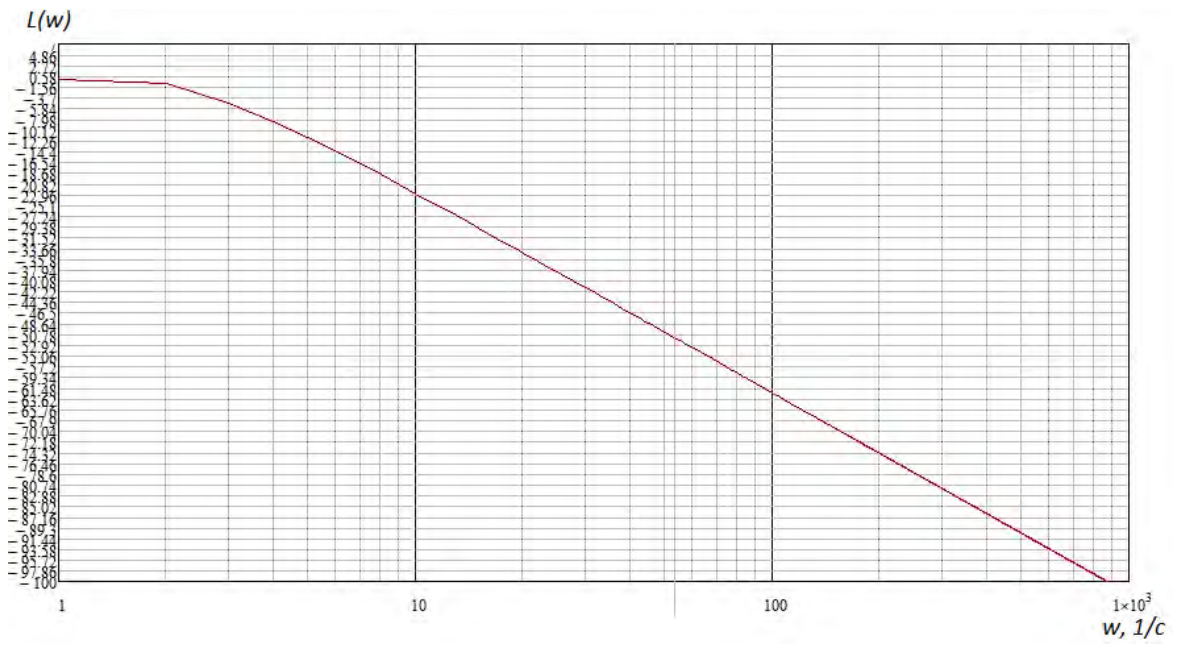


Рисунок 4.12. ФЧХ системи по вісі Y



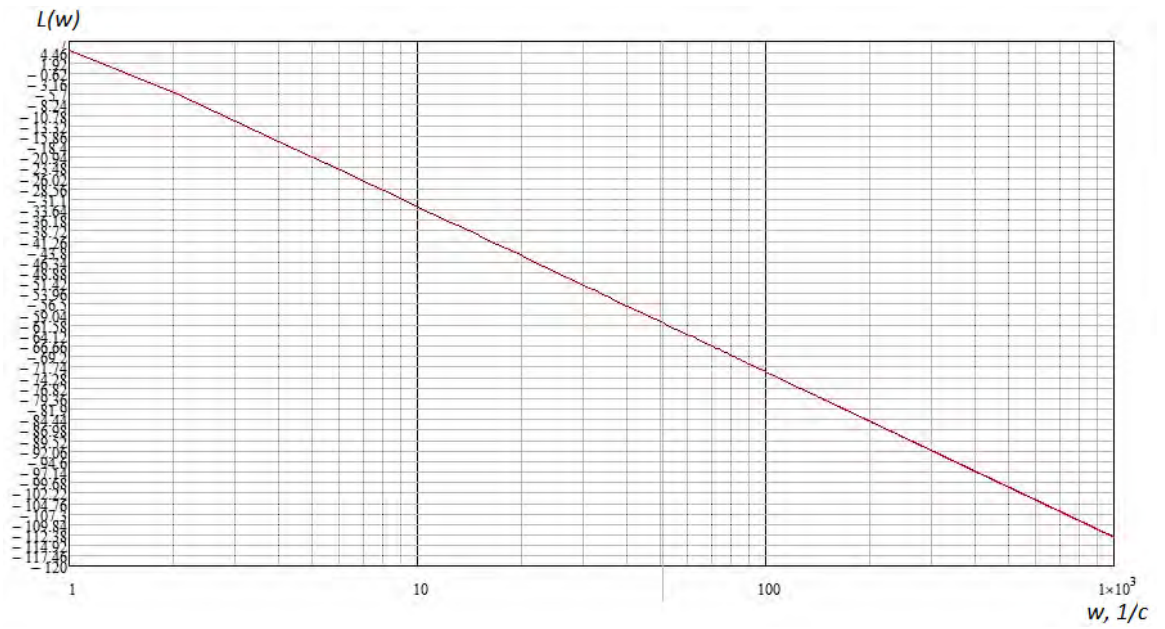


Рисунок 4.13. ФЧХ системи по вісі Z

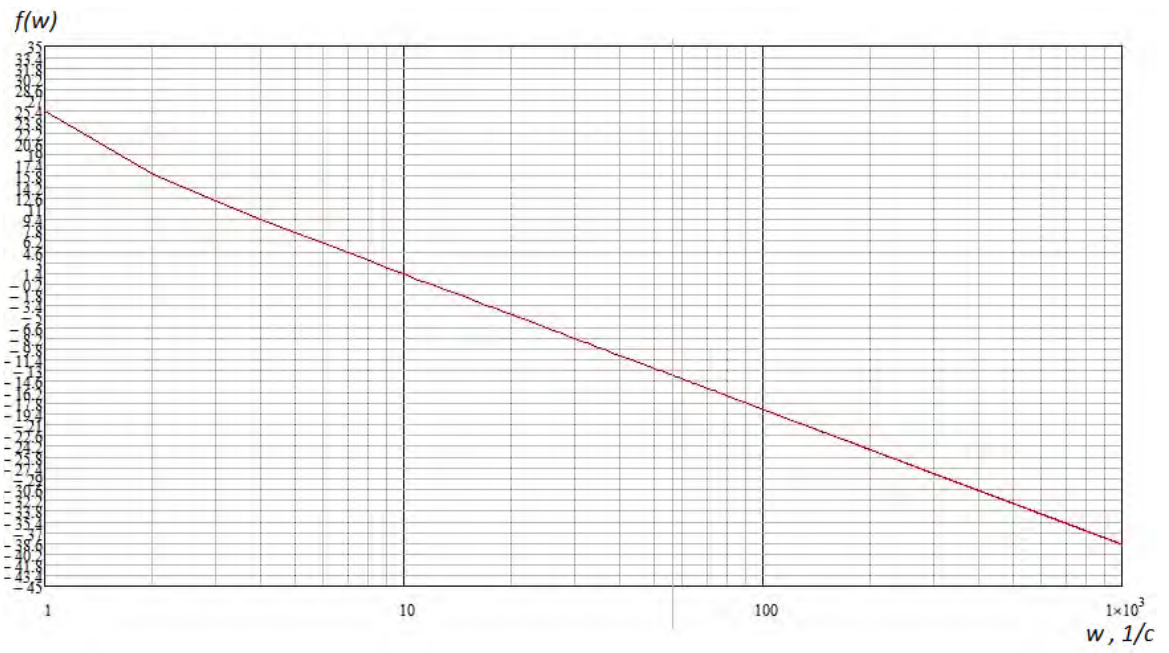


Рисунок 4.14. ЛФЧХ системи по вісі X

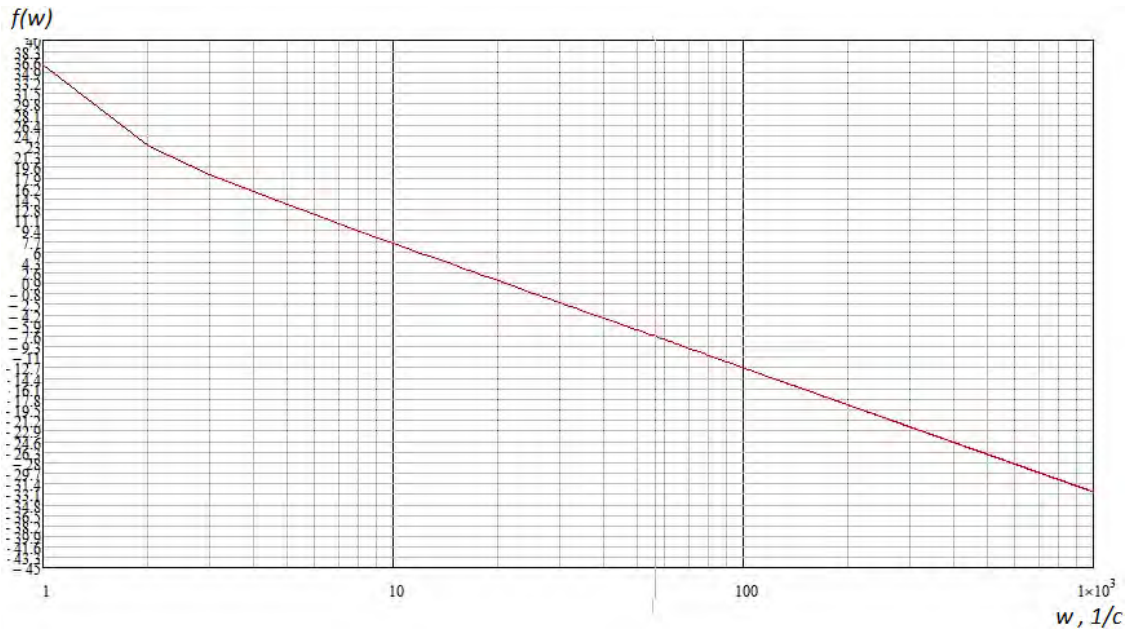


Рисунок 4.15. ЛФЧХ системи по вісі Y

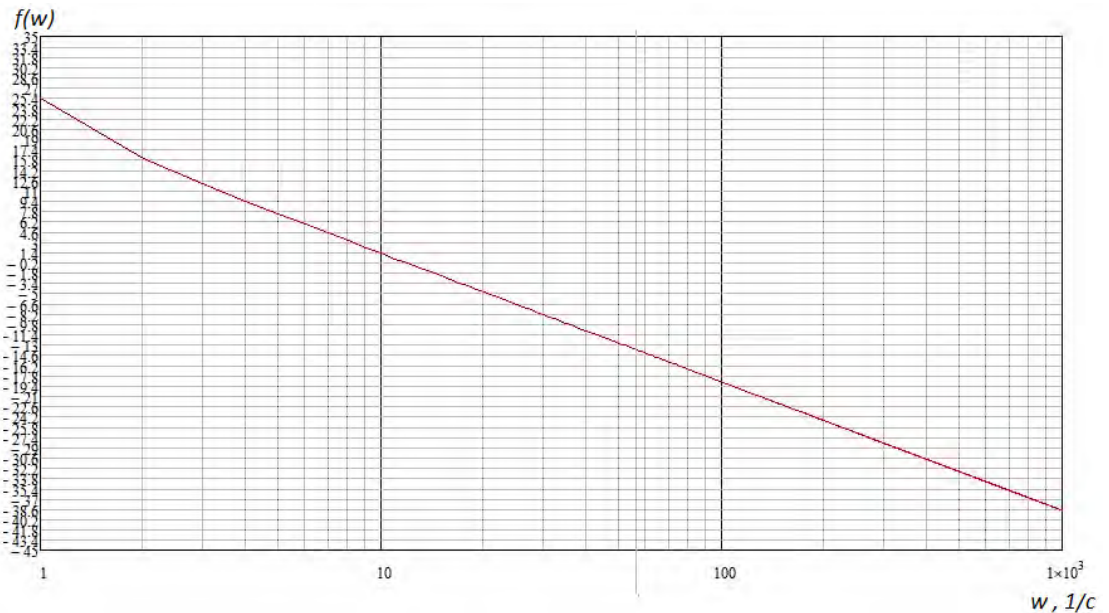


Рисунок 4.16. ЛФЧХ системи по вісі Z

#### 4.8. Вплив конструктивних параметрів

З розрахунків (4.4 - 4.6) видно, що на значення часу перехідного процесу впливають конструктивні параметри, а саме: момент інерції, чутливість датчика кута, коефіцієнт посилення підсилювача, чутливість двигуна стабілізації та передаточне число його редуктора. Для покращення значення ЧПП необхідно

дослідити вплив цих параметрів на величину ЧПП. Для дослідження обираємо параметри: момент інерції, чутливість датчика кута, чутливість двигуна стабілізації.

В таблиці 4.1 вказано набір значень конструктивних параметрів, за допомогою яких буде проводитися дослідження. Для кожного з них побудуємо перехідну характеристику та розрахуємо ЧПП, залишаючи інші параметри без змін. Момент інерції задаємо рівним моменту інерції по вісі  $Ox$ . Динамічну похибку встановлюємо 1%.

Таблиця 4.1. Набір параметрів

| Параметр                                | 1     | 2    | 3     | 4     | 5     |
|---|-------|------|-------|-------|-------|
| Момент інерції, кг·м <sup>2</sup>       | 0.02  | 0.03 | 0.04  | 0.05  | 0.06  |
| Чутливість датчика кута                 | 0.2   | 0.4  | 0.6   | 0.8   | 1     |
| Чутливість двигуна стабілізації, Н·м/мА | 0.008 | 0.01 | 0.012 | 0.014 | 0.016 |

Скориставшись (3.24) та (4.7), будемо перехідний процес для кожного випадку. Побудова характеристик проводилася у програмному пакеті Matlab.

1) Змінюємо момент інерції (від найменшого значення до найбільшого):

$$h_{11}(t) = L^{-1} \left( \frac{1.242}{0.02p^2 + 0.03415p + 0.0688} \right) = -5.37j e^{(-0.085 - 0.578j)t} (e^{(1.156j)t} - 1);$$



Рисунок 4.17. Графік перехідного процесу  $h_{11}$



$$h_{12}(t) = L^{-1} \left( \frac{1.242}{0.03p^2 + 0.03415p + 0.0688} \right) = -4.37j e^{(-0.056 - 0.473j)t} (e^{(0.947j)t} - 1);$$



Рисунок 4.18. Графік перехідного процесу  $h_{12}$

$$h_{13}(t) = L^{-1} \left( \frac{1.242}{0.04p^2 + 0.03415p + 0.0688} \right) = -3.777j e^{(-0.0426 - 0.411j)t} (e^{(0.82j)t} - 1);$$

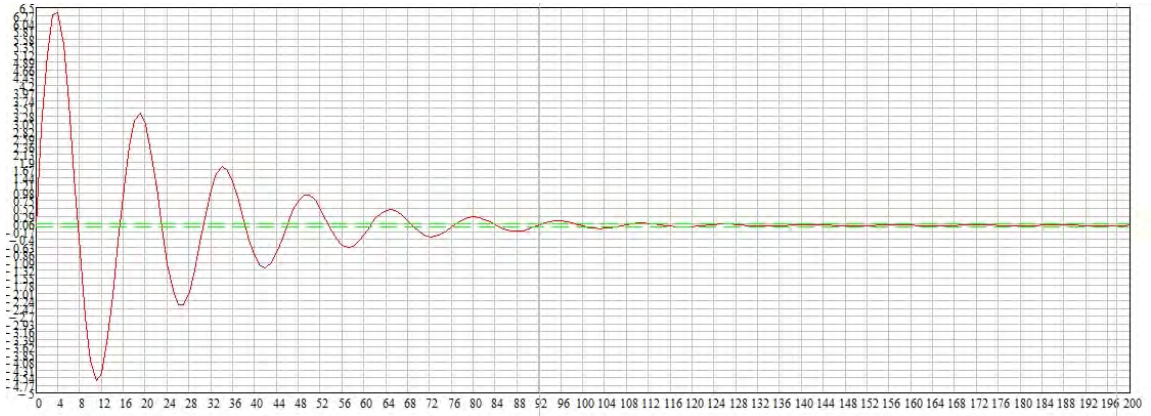


Рисунок 4.19. Графік перехідного процесу  $h_{13}$

$$h_{14}(t) = L^{-1} \left( \frac{1.242}{0.05p^2 + 0.03415p + 0.0688} \right) = -3.374j e^{(-0.0341 - 0.367j)t} (e^{(0.736j)t} - 1);$$



Рисунок 4.20. Графік перехідного процесу  $h_{14}$



$$h_{15}(t)L^{-1} \left( \frac{1.242}{0.06p^2+0.03415p+0.0688} \right) = -3.078je^{(-0.0284-0.336j)t}(e^{(0.672j)t} - 1);$$

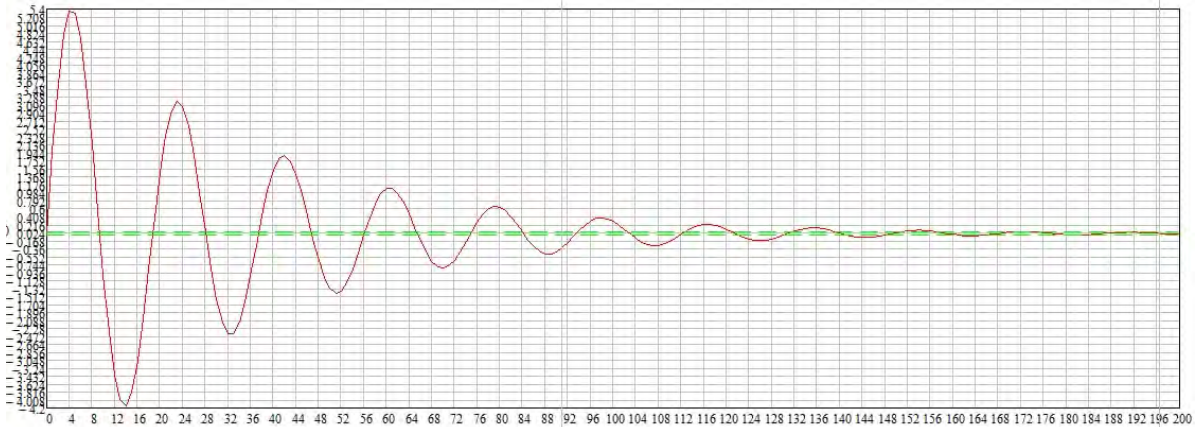


Рисунок 4.21. Графік перехідного процесу  $h_{15}$

Після аналізу графіків (рис. 4.17 - 4.21), можна помітити, що момент інерції має великий вплив на швидкодію системи, а також на періодичність та амплітуду коливань. При збільшенні моменту інерції – ЧПП зменшується.

2)Змінюємо чутливість датчика кута (від найменшого значення до найбільшого):

$$h_{21}(t) = L^{-1} \left( \frac{0.372}{0.05729p^2+0.03415p+0.02} \right) = -1.75je^{(-0.0298-0.184j)t}(e^{(0.369j)t} - 1);$$

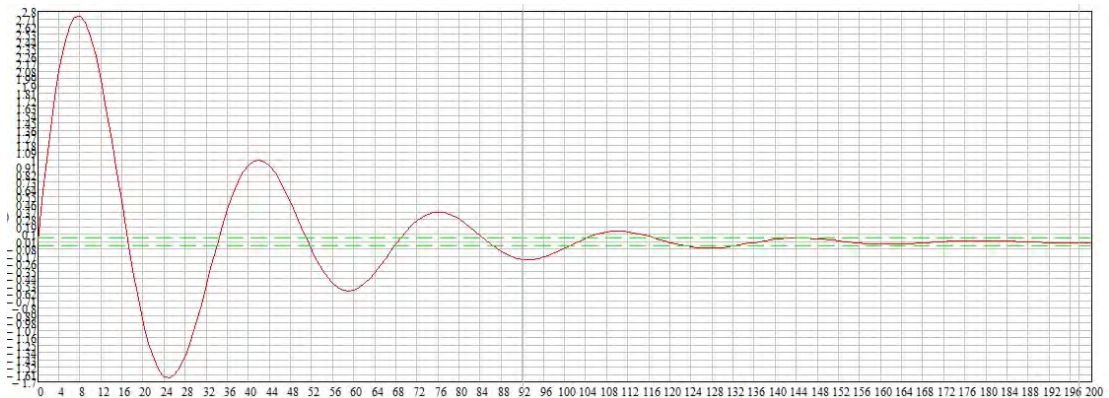


Рисунок 4.22. Графік перехідного процесу  $h_{21}$

$$h_{22}(t) = L^{-1} \left( \frac{0.744}{0.05729p^2+0.03415p+0.04} \right) = -2.57je^{(-0.0298-0.262j)t}(e^{(0.525j)t} - 1);$$

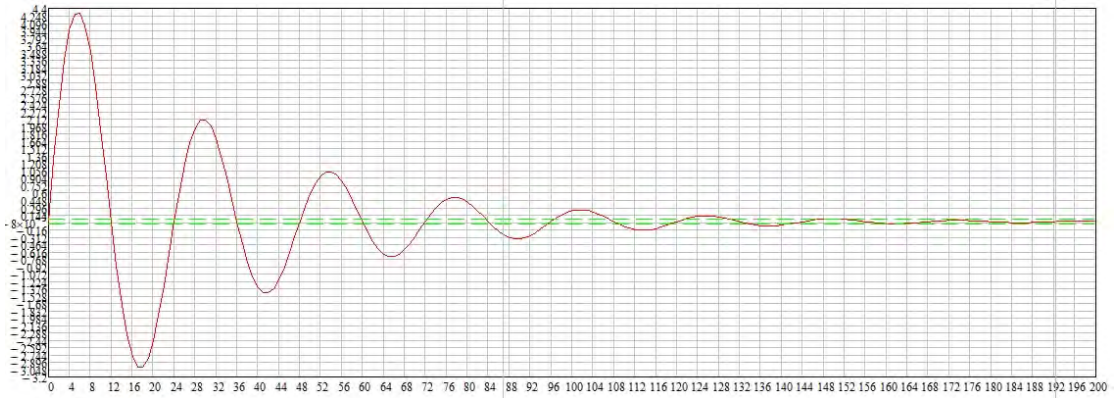


Рисунок 4.23. Графік перехідного процесу  $h_{22}$

$$h_{23}(t) = L^{-1} \left( \frac{1.116}{0.05729p^2 + 0.03415p + 0.061} \right) = 2.997je^{(-0.0297 - 0.324j)t} (e^{(0.649j)t} - 1);$$

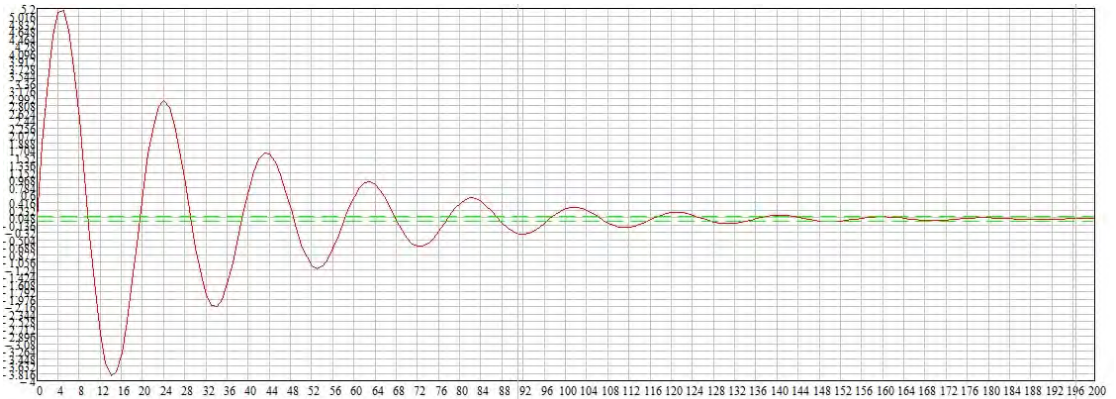


Рисунок 4.24. Графік перехідного процесу  $h_{23}$

$$h_{24}(t) = L^{-1} \left( \frac{1.488}{0.05729p^2 + 0.03415p + 0.081} \right) = -3.46je^{(-0.0297 - 0.374j)t} (e^{(0.749j)t} - 1);$$

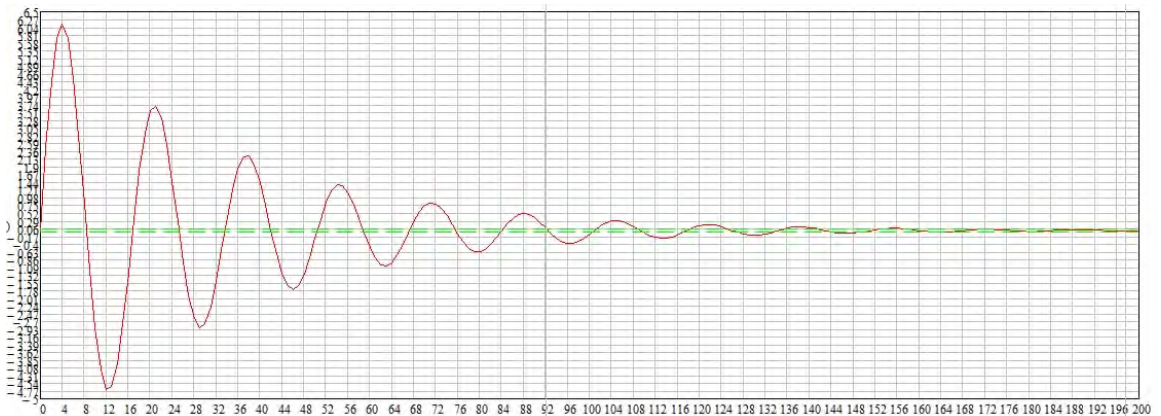


Рисунок 4.25. Графік перехідного процесу  $h_{24}$

$$h_{25}(t) = L^{-1} \left( \frac{1.86}{0.05729p^2 + 0.03415p + 0.102} \right) = -3.85je^{(-0.0297 - 0.42j)t} (e^{(0.841j)t} - 1)$$

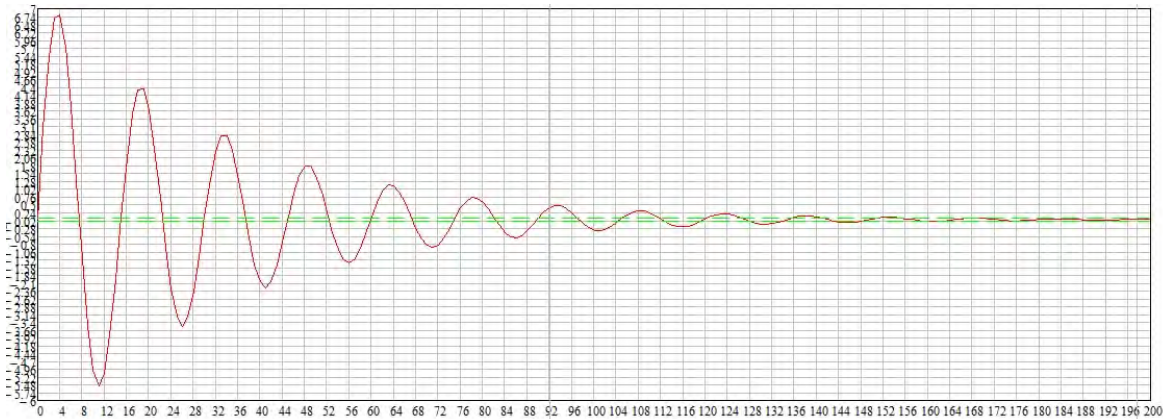


Рисунок 4.26. Графік перехідного процесу  $h_{25}$

Після аналізу графіків (рис. 4.22 - 4.26), можна зробити висновок, що збільшення чутливості датчика кута може призвести як до підвищення швидкодії приладу, так і до її зменшення.

3) Змінюємо чутливість двигуну стабілізації (від найменшого значення до найбільшого):

$$h_{31}(t) = L^{-1} \left( \frac{1.242}{0.05729p^2 + 0.03415p + 0.0498} \right) = 3.695j e^{(-0.0298 - 0.293j)t} (e^{(0.586j)t} - 1);$$

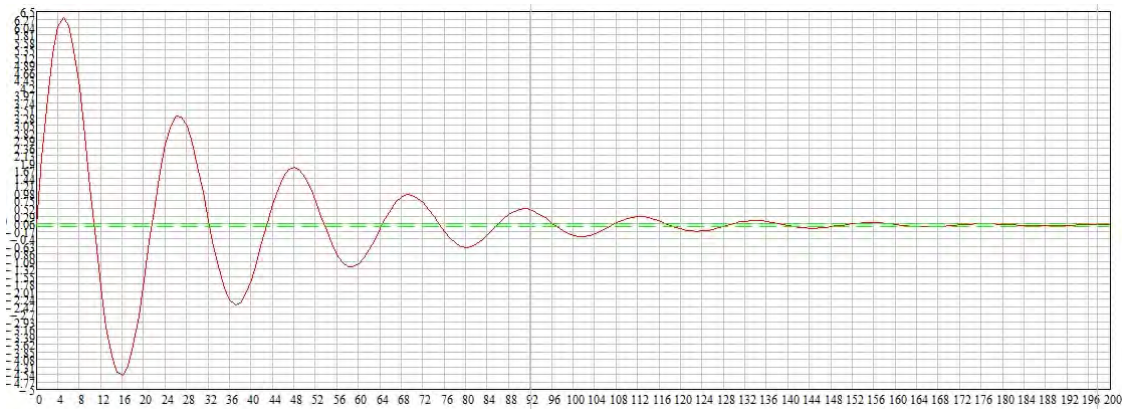


Рисунок 4.27. Графік перехідного процесу  $h_{31}$



$$h_{32}(t) = L^{-1} \left( \frac{1.242}{0.05729p^2 + 0.03415p + 0.062} \right) = -3.144j e^{(-0.0298 - 0.332j)t} (e^{(0.661j)t} - 1);$$

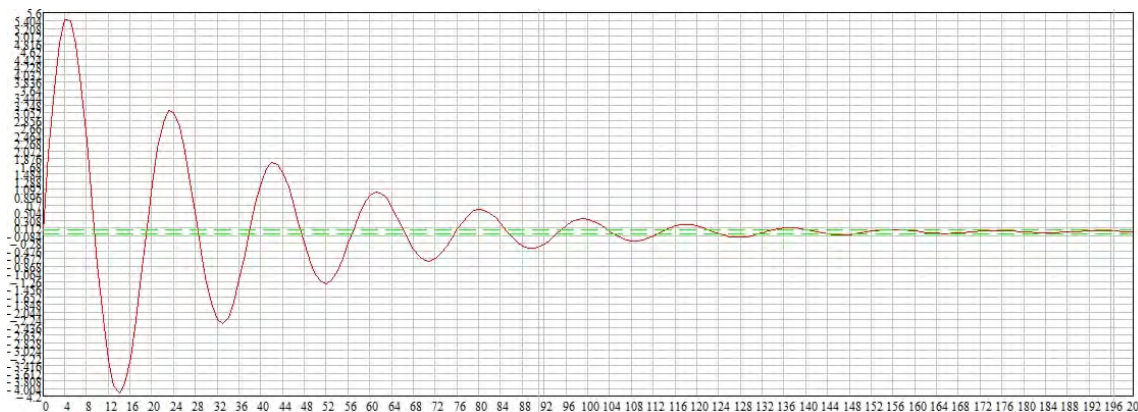


Рисунок 4.28. Графік перехідного процесу  $h_{32}$

$$h_{33}(t) = L^{-1} \left( \frac{1.242}{0.05729p^2 + 0.03415p + 0.074} \right) = 3.026j e^{(-0.0298 - 0.358j)t} (e^{(0.716j)t} - 1);$$

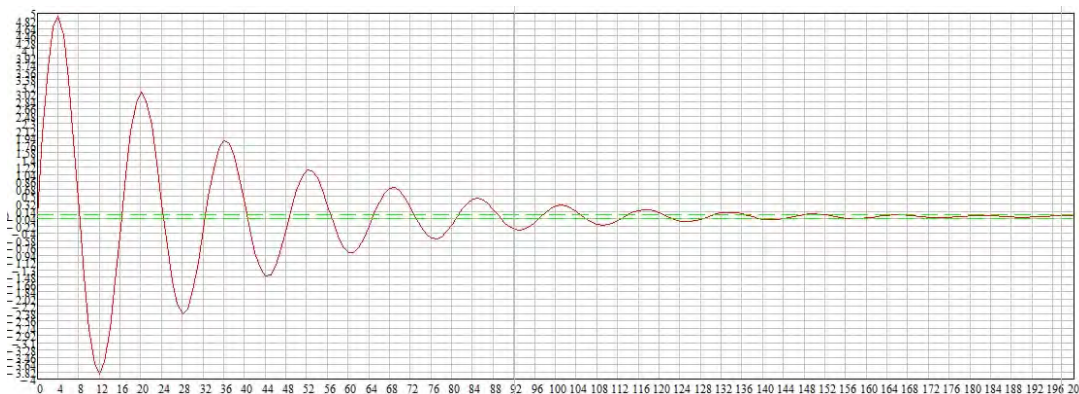


Рисунок 4.29. Графік перехідного процесу  $h_{33}$

$$h_{34}(t) = L^{-1} \left( \frac{1.242}{0.05729p^2 + 0.03415p + 0.0872} \right) = -2.78j e^{(-0.0298 - 0.388j)t} (e^{(0.777j)t} - 1);$$



Рисунок 4.30. Графік перехідного процесу  $h_{34}$

$$h_{35}(t) = L^{-1} \left( \frac{1.242}{0.05729p^2 + 0.03415p + 0.0997} \right) = -2.605j e^{(-0.0298 - 0.416j)t} (e^{(0.832j)t} - 1);$$

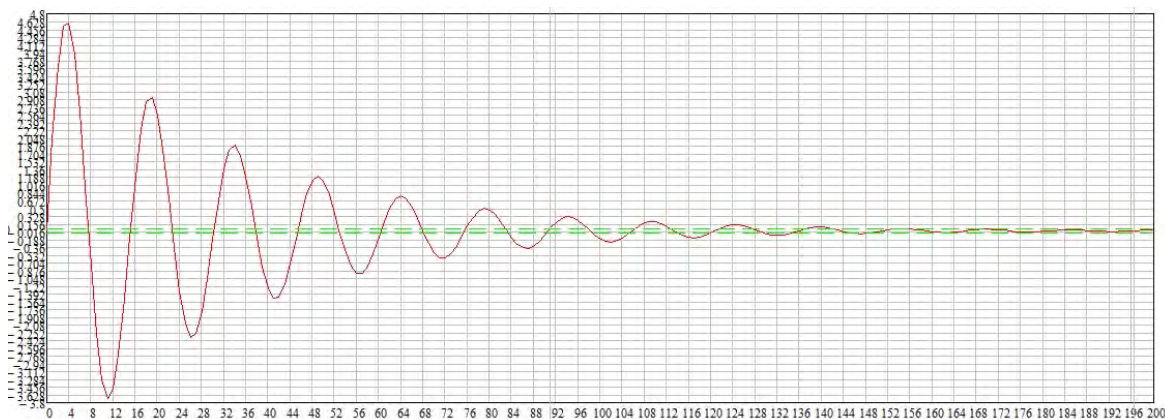


Рисунок 4.31. Графік перехідного процесу  $h_{35}$

Після аналізу графіків (рис. 4.26 - 4.31), можна зробити висновок, що збільшення чутливості двигуна стабілізації відповідно збільшує швидкодії приладу.

Результати досліджень було занесено до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. Результати досліджень

| Параметр, що досліджувався      | Значення часу перехідного процесу при параметрі №1, с | Значення часу перехідного процесу при параметрі №2, с | Значення часу перехідного процесу при параметрі №3, с | Значення часу перехідного процесу при параметрі №4, с | Значення часу перехідного процесу при параметрі №5, с |
|---------------------------------|---|---|---|---|---|
| Момент інерції                  | 0.056   | 0.08  | 0.112   | 0.132   | 0.168   |
| Чутливість датчика кута         | 0.148   | 0.140   | 0.132   | 0.158   | 0.168   |
| Чутливість двигуна стабілізації | 0.156   | 0.148   | 0.144   | 0.140   | 0.136   |

За результатами, наведеними у таблиці 4.2, будемо графіки залежності ЧПП від конструктивних параметрів, які досліджувалися.

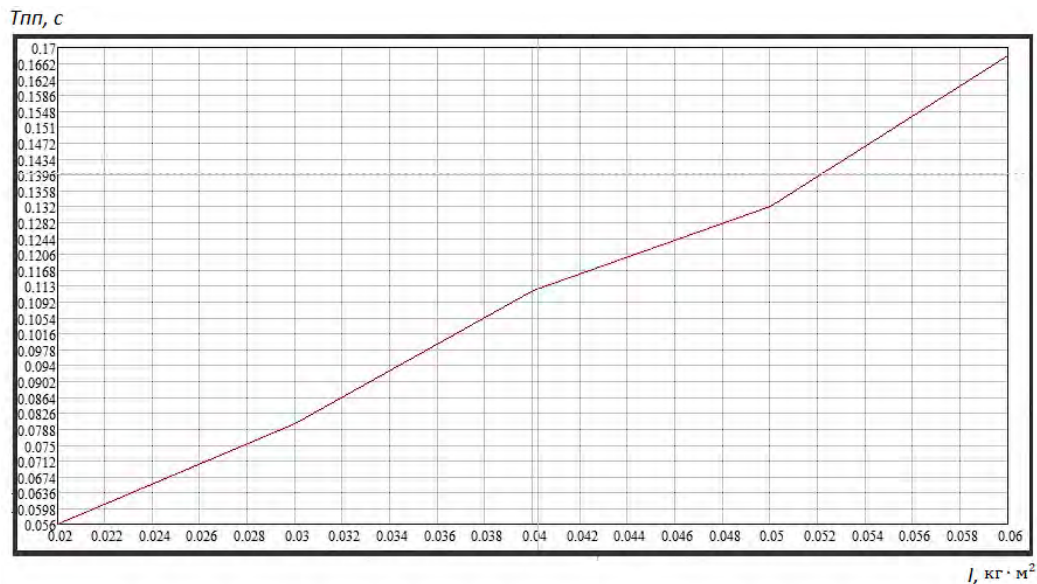


Рисунок 4.32. Залежність часу перехідного процесу від моменту інерції

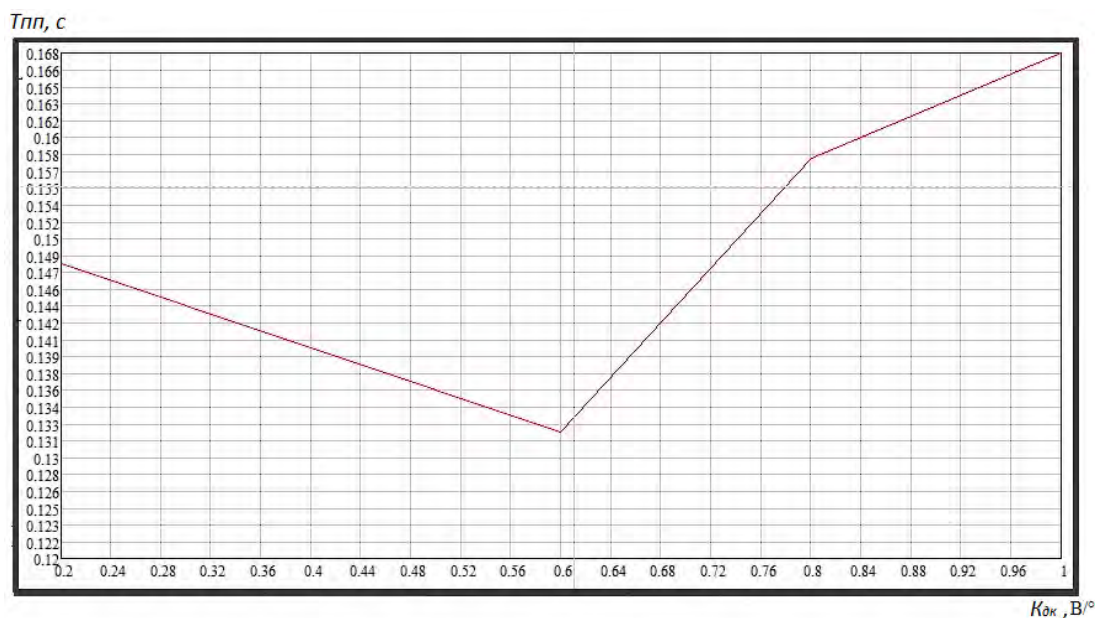


Рисунок 4.33. Залежність часу перехідного процесу від чутливості датчика кута

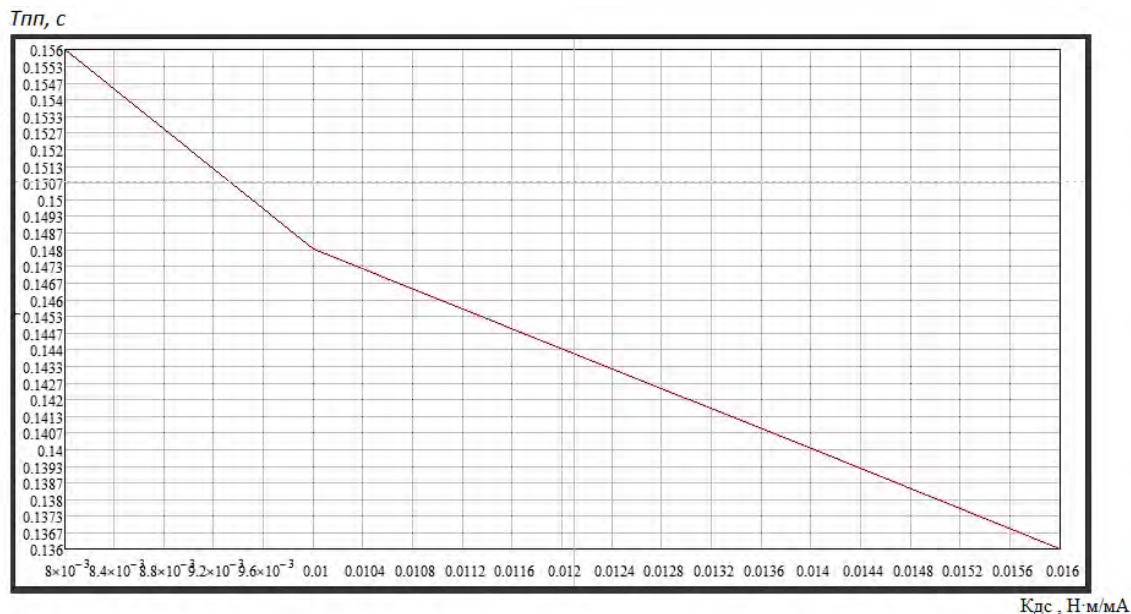


Рисунок 4.34. Залежність часу перехідного процесу від чутливості двигуну стабілізації

#### 4.9. Висновки до розділу 4

У даному розділі було детально розглянуто та описано процес вибору параметрів системи стабілізації та її складових компонентів. Наведено розрахунок щодо вибору конструктивних параметрів та детальне обґрунтування питання їх вибору.

Розглянуто питання впливу конструктивних параметрів стабілізатора на забезпечення точності та надійності роботи. Визначено взаємозалежності цих особливостей та заходи щодо покращення точності процесу стабілізації.

Детально розглянуто та описано процес розрахунку системи автоматизації процесу стабілізації. Наведено отримані передаточні функції системи, описано процес отримання даних функції.

Наведено розрахунки та графіки, які характеризуються перехідні процеси системи стабілізації. Окремо було розглянуто питання стійкості системи.

## **5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ «АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА СТАБІЛІЗАЦІЇ КАМЕРИ GODHUNTER»**

Стартап – це комерційний проєкт, що ґрунтується на будь-якій ідеї та потребує фінансування для розвитку і буде свій бізнес на основі інновацій або інноваційних технологій, не вийшла на ринок або почала на нього виходити і що володіє обмеженими ресурсами [12].

Процес створення та виведення стартап-проєкту включає перелік організаційних, розрахункових, аналітичних та інших процесів. Цей перелік можна включати такі етапи як:

1) визначення ринкової перспективи - передбачає аналіз цільового ринку, визначення потреб споживачів, вивчення конкурентів та їх особливостей, а також визначення унікальних пропозицій і переваг проєкту;

2) організаційні питання, щодо виробництва - передбачає пошук постачальників, розробка етапів та графіків виробництва. Визначення оптимальних шляхів щодо виробництва та логістики;

3) фінансовий аналіз - передбачає створення прогнозів та бізнес-плану, визначення потреб у фінансуванні, можливостей отримання прибутку, оптимальний час для початку отримання перших прибутків тощо;

4) проведення аналізу ринку - передбачає визначення потенційних ризиків, розробка стратегії просування та управління. Визначення економічного, технологічного та ринкового середовища для передбачення потенційних проблем, загроз та викликів;

5) просування ідеї та залучення інвестицій - передбачає розробку ефективної стратегії маркетингу та продажу. Підготовка та організації щодо проведення переговорів щодо залучення інвестицій. [12]

### **5.1. Опис ідеї проєкту**

Оскільки на сьогодні існує потреба у якісній автоматизованій системі стабілізації камери, в якості ідеї стартап-проєкту було обрано автоматизовану



систему стабілізації для камери на базі гіроскопічного ЧЕ. Система стабілізації для камери – пристрій, що використовується для придушення коливань, хитання або вібрації камери (основи на якій вона встановлена) для отримання якісних відеозаписів.

У таблиці 5.1 описано зміст цієї ідеї та потенційно можливі ринки збуту продукту.

Таблиця 5.1. Опис ідеї стартап-проєкту [12]

| Зміст ідеї  | Напрямки застосування  | Вигоди для користувача   |
|---|--|--|
| Розробка автоматизованої системи стабілізації відеокамери | Телеіндустрія, кінематограф, професійні та аматорські зйомки на камеру тощо. | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Невисока вартість.</li> <li>2. Достатня точність та швидкодія.</li> <li>3. Високий рівень стабілізації.</li> <li>4. Надійна та безперебійна робота приладу в умовах сильної тряски та вібрацій.</li> </ol> |

Отже, порівняно з сучасними приладами, побудова даної системи стабілізації камери дасть нам ряд переваг, а саме:

- невисока вартість, за рахунок використання простих у виробництві деталей;
- висока швидкодія та точність;
- високий рівень стабілізації;
- надійна та безперебійна робота приладу.

У таблиці 5.2 описано інформаційну карту стартап-проєкту.

Таблиця 5.2. Інформаційна карта стартап-проєкту [12]

|   |   |
|---|---|
| Назва проєкту                             | Автоматизована система стабілізації камери  |
| Автори                                    | Сав'юк В. С., Безвесільна О. М.   |
| Анотація                                  | Система стабілізації дозволяє забезпечити достатньо високий рівень точності стабілізації у процесі зйомки |
| Термін реалізації                         | 6 міс   |
| Необхідні ресурси                         | Фінансові   |
| Опис проблеми, яку вирішує стартап-проєкт | Забезпечує високу точність стабілізації зображення при зйомці камерою                                     |
| Ціль                                      | Забезпечити високу точність стабілізації  |
| Очікуваний результат                      | Надання високоточної системи для ринку  |

Наступним етапом виконуємо аналіз техніко-економічних переваг пропонованої ідеї проєкту у порівнянні із подібними пропозиціями конкурентів.

Визначимо:

- Перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- попереднє коло конкурентів або товарів-замінників чи аналогів, що існують на ринку;
- порівняльний аналіз показників (W, слабкі; N, нейтральні; S, сильні).

Головними конкурентами проєкту є компанії такі як DJI та Feiyu-Tech, які є лідерами на ринку, по випуску стабілізаторів для камер та телефонів.

Отримані результати аналізу заносимо до порівняльної характеристики сильних, нейтральних та слабких показників ідеї проєкту.

Таблиця 5.3. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проєкту [12]

| № п/п | Техніко-економічні характеристики ідеї | (потенційні) товари/концепції конкурентів |                 |                 | W<br>(слабка сторона) | N<br>(нейтральна сторона) | S<br>(сильна сторона) |
|-------|--|---|-----------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
|       |  | Мій проєкт                                | DJI             | Feiyu-Tech      |                       |                           |                       |
| 1.    | Габаритні розміри                      | Малі                                      | Малі            | Малі            |                       | x                         |                       |
| 2.    | Вартість (економічність)               | Низька                                    | Середня         | Середня         |                       |                           | x                     |
| 3.    | Час роботи від батареї                 | 14  | 12              | 12              |                       |                           | x                     |
| 4.    | Безпечність                            | Безпечний                                 | Безпечний       | Безпечний       |                       | x                         |                       |
| 5.    | Простота виробництва                   | Середня                                   | Проста          | Проста          | x                     |                           |                       |
| 6.    | Екологічність                          | Незначний вплив                           | Незначний вплив | Незначний вплив |                       | x                         |                       |

Відносно конкурентів описана ідея має перевагу у вартості та часу роботи. Маючи низьку вартість пристрій стає доступніший для ширшого сегменту споживачів, а більший час роботи від батареї, в свою чергу, робить пристрій більш універсальним. Прилад складається з модульних компонентів, що призводить для певних перепон на етапі виробництва, але складання пристрою, транспортування по частинам або ремонт пошкоджених компонентів виконується швидше і простіше.

Технологічний аудит – це проведення оцінки потенціалу ідеї, як об’єкту комерціалізації. При виконанні цього етапу потрібно виконати аудит технологій, з використанням, яких з’являється можливість для реалізації стартап проєкту. Аналіз виконується визначенням технологій здійснення ідеї проєкту.

Для проведення технологічного аудиту ідеї проєкту буде використано таблицю 5.4, у якій наведено існуючі технологічні можливості.

Таблиця 5.4. Технологічна здійсненність ідеї проєкту [12]

| № п/п | Ідея проєкту   | Технології її реалізації      | Наявність технологій | Доступність технологій |
|-------|--|-------------------------------|----------------------|------------------------|
| 1.    | Використання акселерометра для визначення куту обертання | Програмування мікроконтролеру | Наявні               | Доступна               |
| 2.    | Використання акселерометра для визначення куту обертання | Програмування мікроконтролеру | Наявні               | Доступна               |
| 3.    | Керування процесом стабілізації                          | Програмування мікроконтролеру | Наявні               | Доступна               |

Після проведення технологічного аудиту можна зробити висновок, що для впровадження проєкту необхідні існуючі(наявні) технології. Технологія реалізації ідеї спирається на інноваційність підходу та зосереджена саме на керуванні процесом стабілізації зображення. Всі пункти, наведені вище, полягають у програмуванні мікроконтролера.

Ідею проєкту реалізує автоматизованою системою стабілізації камери на базі гіроскопічного ЧЕ, який підвищує якість стабілізації при зйомках чи записах.

## 5.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

У цьому розділі буде визначено ринкові можливості, які можна використовувати у процесі ринкового впровадження проєкту. Також буде описано ринкові загрози, що можуть вплинути або перешкодити реалізації даного проєкту.

Це надає можливості узагальнено оцінити сферу, визначити основні потенційні складнощі, щоб уникнути можливих проблем або мінімізувати їх вплив на реалізацію стартап проєкту.

Аналіз потенційного ринку стартап проєкту представлено у таблиці 5.5[12].

Таблиця 5.5. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

| № п/п | Показники стану ринку (найменування)                     | Характеристика                             |
|-------|--|--|
| 1     | Кількість головних гравців, од                           | 5  |
| 2     | Загальний обсяг продаж, грн/ум.од                        | 10000                                      |
| 3     | Динаміка ринку (якісна оцінка)                           | Зростає                                    |
| 4     | Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень) | Конкуренція популярних зарубіжних компаній |
| 5     | Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації      | Відсутні                                   |
| 6     | Середня норма рентабельності в галузі (або ринку), %     | 35   |

Аналізуючи дані, можна дійти до висновку, що для обраної галузі відсутні особливі вимоги щодо стандартизації чи сертифікації, динаміка ринку зростає та присутній високий показник рентабельності, який дозволить у відносно короткі часові терміни покрити витрачені кошти на створення пристрою та отримати прибуток. Однак присутня конкуренція на міжнародному ринку, що є завадою для виходу на ринок.

Далі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, а також виконуємо формування орієнтовного переліку вимог до товару відносно кожної обраної групи. Усі отримані дані заносимо до таблиці 5.6.

Таблиця 5.6. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту [12]

| № п/п | Потреба, що формує ринок   | Цільова аудиторія  | Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп  | Вимоги споживачів до товару  |
|-------|--|--|---|--|
| 1     | Створення пристрою, що підвищить якість стабілізації відеозапису | Власники камер, фотоіндустрія, Кіноіндустрія, Телеіндустрія, Військова індустрія | Використання системи для отримання якісних та чітких фото- та відеоматеріалів залежно від аудиторії | Висока якість та надійність, забезпечення стабілізації, підтримка різних камер |

Аналізуючи дані з таблиці можна зазначити, що існує достатня кількість потенційних клієнтів різного типу, які потребують такої системи для різного цільового призначення. Споживач отримає продукцію, яка буде відповідати необхідним характеристикам надійності, якості та іншим заявленим характеристикам.

Наступним етапом розглянемо потенційні фактори загроз.

Таблиця 5.7. Фактори загроз [12]

| № п/п | Фактор  | Зміст загрози  | Можлива реакція компанії   |
|-------|---|--|--|
| 1     | Конкуренція на міжнародних ринках збуту продукції | Зменшення кількості продажів   | Вдосконалення пристрою, оптимізація для зменшення вартості                                     |
| 2     | Старіння системи                                  | Застарілі і не актуальні функції, що виникли в результаті швидкої динаміки розвитку технологій | Моніторинг ринків збуту, пошук нових інноваційних підходів, впровадження актуальних технологій |
| 3     | Обслуговування та пошкодження                     | Вихід з ладу системи або окремих її модулів  | Створення модульної системи, надання послуг з ремонту та обслуговування                        |
| 4     | Відсутність первинного(стартового) капіталу       | Потреба закупівлі комплектуючих для створення системи стабілізації                             | Пошук інвесторів   |

Аналізувавши отриманий перелік ризиків можна сказати, що існують певні фактори які здатні негативно вплинути на розвиток стартап-проєкту та вихід його на ринок, зокрема це зростання конкуренції та старіння продукції. Є необхідність регулярного моніторингу та аналізу сфери для прогнозування потенційних загроз та їх виникнення, щоб вчасно вжити відповідних заходів.

Наступним етапом розглянемо фактори потенційних можливостей, та сформуємо отримані результати у вигляді таблиці 5.8.

Таблиця 5.8. Фактори можливостей [12]

| № п/п | Фактор                               | Зміст можливості   | Можлива реакція компанії  |
|-------|--------------------------------------|--|---|
| 1     | Розширення на міжнародні ринки збуту | Загально-поширеність(актуальність чи популярність) впливає на розширення ринків збуту  | Впровадження нових методів та засобів для покращення процесу виробництва.   |
| 2     | Зростання попиту на продукт          | Зростання попиту на продукт призводить до збільшення впливу на ринки збуту, що, в свою чергу, впливає на прибуток та дає змогу збільшити обсяг виробництва продукту(системи) | Дослідження нової технології виробництва для зниження вартості системи при умові зберігання конкурентоспроможності. |
| 3     | Сервісна підтримка                   | Високий рівень інформаційних технологій та достатня кількість кваліфікованих робітників  | Сервісне обслуговування клієнтів як дистанційно, так і на місці   |
| 4     | Робота за різних умов                | Необхідність роботи за різних погодних умов чи навколишнього середовища  | Розробка приладу з урахуванням даних факторів   |
| 5     | Впровадження інноваційних технологій | Підвищення актуальності, запобігання старінню, покращення якості і функціональності системи  | Використання новітніх функціональних систем, модулів і розробка та удосконалення унікального ПЗ                     |

Можна стверджувати, що існують деякі фактори, що мають потенціал для позитивного впливу на розвиток стартап-проекту. Використання інноваційних технологій дозволяє виготовляти унікальний товар з особливою функціональністю. Впровадження сервісного обслуговування сприятиме набуття гарної репутації у клієнтів. Все це, у свою чергу, впливає на популярність та поширеність використання системи стабілізації.

Наступним етапом необхідно виконати ступеневий аналіз конкуренції на ринку. Отримані результати записані у таблиці 5.9.

Таблиця 5.9. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку [12]

| Особливості конкурентного середовища           | В чому проявляється дана характеристика                        | Вплив на діяльність підприємства  |
|--|--|---|
| Чиста конкуренція                              | Кількість компаній, що виготовляють подібну продукцію невелика | Концентрація на якості, доступності та універсальності системи                    |
| Глобальний рівень конкурентної боротьби        | Наявність філій та ринків збуту по всьому світі                | Покращення функціональних можливостей компанії                                    |
| Міжгалузєва ознака                             | Актуальність та залучення продукції в галузі ІТ                | Розробка та покращення роботи додатку для керування процесом стабілізації системи |
| Конкуренція за видами товарів (товарно видова) | Конкуренція, яка виникає між товарами одного виду              | Дослідження нових та адаптація під сучасні тенденції                              |
| Цінова конкурентна перевага                    | Використання ціни як засіб кращих умов збуту                   | Постійний моніторинг цін на ринках збуту  |
| За інтенсивністю (марочна)                     | Вплив марки на клієнтів(споживачів), заснування бренду         | Реєстрація марки, реклама бренду.   |

Посилаючись на дані з таблиці, маємо чисту конкуренцію, оскільки конкуренція представлена у вигляді окремої кількості виробників, які надають схожу продукцію відповідної якості. Існує потреба у впровадженню інноваційних функцій. Глобальний рівень конкуренції присутній, оскільки пристрій може використовуватися будь-де. Конкуренція за видом товару є товарно-видова, так як конкуренція спостерігається між товарами одного виду.

Впровадження торгової марки та проведення рекламування продукції призведе до закріплення на ринку і зростання попиту серед споживачів.



Після виконання аналізу конкуренції виконаємо детальніший аналіз умов конкуренції у галузі. Результати відображено у таблиці 5.10.

Таблиця 5.10. Аналіз конкуренції у галузі за М. Портером [12]

| Складові аналізу | Прямі конкуренти у галузі         | Потенційні конкуренти   | Постачальники                               | Клієнти                            | Товари-замінники                                  |
|------------------|-----------------------------------|---|---|------------------------------------|---|
|                  | DJI                               | Наявність у конкурентів товарів-аналогів                              | Розмір замовлення                           | Відгуки та оцінки щодо системи     | Компанії з відповідним контролем якості продукції |
|                  | Feiyu-Tech                        |   |   |                                    |   |
| Висновки:        | Середня інтенсивність конкуренції | Присутня можливості входу на ринок за рахунок інноваційних технологій | Постачальники встановлюють (регулюють) ціну | Клієнти задають попит на продукцію | Безпечність, використання нових технологій        |

Виходячи з даних, слід зазначити, що основними факторами, які можуть здійснювати вплив на стартап-проект –це постачальники та користувачі системи.

Постачальники впливають на вартість вихідної продукції, обсяги виробництва та терміни виконання. Споживачі, у свою чергу, формують репутацію продукції, що може як покращити попит, так і погіршити.

Після виконання даного аналізу необхідно перейти до обґрунтування переліку факторів забезпечення конкурентоспроможності проекту. Конкурентоспроможність є одним із основних аспектів який здатен визначати можливість розвитку та існування стартапу у цілому, а також дозволяє визначити методи її покращення. Результати наведено у таблиці 5.11.

Таблиця 5.11. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності [12]

| № п/п | Фактор конкурентоспроможності                          | Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проєктів значущим)    |
|-------|--|--|
| 1     | Універсальність  | Система може використовуватися за різним призначення у галузі  |
| 2     | Адаптація до погодних умов та навколишнього середовища | Забезпечення роботи пристрою за різних кліматичних умов  |
| 3     | Постійний розвиток та покращення                       | Пошук нових покращень та оновлення забезпечують стабільну роботу пристроїв та функціональні можливості |
| 4     | Підтримка та обслуговування засобів                    | Надається підтримка засобів (технічна, програмна та консультативна)                                    |
| 5     | Забезпечення оптимальної якості                        | Забезпечення якості є одним із ключових факторів що визначає майбутній вибір клієнта                   |
| 6     | Гарантійні зобов'язання                                | Надається гарантія (термін може залежати від типу системи)   |

Таблиця 5.12. Портрет цільового покупця [12]

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Що хочуть купити                   | Високоточну систему стабілізації  |
| Хто покупець                       | Фізичні особи, підприємці   |
| Мета купівлі                       | Забезпечити стабільну фото та відео зйомку  |
| Коли покупець купує продукт        | Коли потрібно отримати якісний результат зйомки або підвищити її якість                               |
| Де покупець бажає придбати продукт | Онлайн  |
| Мета стартапу                      | Надати продукт який забезпечить високу точність вимірювання та відповідно роботу стабілізатора камери |

Визначивши основний перелік факторів конкурентоспроможності системи стартап-проєкту переходимо до виконання порівняльного аналізу сильних та слабких сторін. Усі отримані дані описано у таблиці 5.13[12].

Таблиця 5.13. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «GodHunter»

| №<br>п/п | Фактор конкурентоспроможності                          | Бали<br>1-20 | Фактор конкурентоспроможності у порівнянні з ДЛ |    |    |   |    |    |    |
|----------|--|--------------|---|----|----|---|----|----|----|
|          |  |              | -3  | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 |
| 1        | Універсальність  | 19           |   |    |    |   |    | +  |    |
| 2        | Адаптація до погодних умов та навколишнього середовища | 12           |   |    | +  |   |    |    |    |
| 3        | Постійний розвиток та покращення                       | 16           |   |    |    |   | +  |    |    |
| 4        | Підтримка та обслуговування засобів                    | 10           |   | +  |    |   |    |    |    |
| 5        | Забезпечення оптимальної якості                        | 18           |   |    |    |   | +  |    |    |
| 6        | Гарантійні зобов'язання                                | 15           |   |    |    | + |    |    |    |

Порівняльний аналіз визначив, що перевагами стартап-проекту для користувачів є його універсальність, якість і постійний розвиток та покращення. Але також існують недоліки, зокрема це пов'язано з забезпеченням підтримки та обслуговування та адаптацією системи до погодних умов та навколишнього середовища.

Наступним етапом побудуємо таблицю SWOT-аналізу (табл. 5.14). Виконання цього аналізу є одним із складових етапів для ринкового аналізу сильних та слабких сторін, а також можливостей та загроз.

Даний аналіз виконується на основі даних попередніх таблиць, щодо розгляду даних параметрів та аспектів.

Таблиця 5.14. SWOT- аналіз стартап-проєкту [12]

|   |   |
|---|---|
| <p><b>Сильні сторони:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Відносно недорога вартість;</li> <li>2. Універсальність;</li> <li>3. Постійний розвиток та покращення;</li> <li>4. Якість</li> </ol>  | <p><b>Слабкі сторони:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Адаптація до погодних умов та навколишнього середовища;</li> <li>2. Підтримка та обслуговування засобів;</li> <li>3. Відсутність стартового капіталу</li> </ol>   |
| <p><b>Можливості:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сервісна підтримка;</li> <li>2. Робота за різних погодних умов;</li> <li>3. Зростання попиту на систему;</li> <li>4. Розширення на міжнародні ринки;</li> <li>5. Інноваційні технології згідно тенденцій</li> </ol> | <p><b>Загрози:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Конкуренція з міжнародними популярними компаніями;</li> <li>2. Залежність від модифікацій;</li> <li>3. Швидке старіння продукту;</li> <li>4. Підтримка та обслуговування;</li> <li>5. Відсутність стартового капіталу</li> </ol> |

У результаті виконання SWOT- аналіз стартап-проєкту отримано узагальнену таблицю. На основі даної таблиці можна провести визначення альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту. Дані результати заносяться до таблиці 5.15.

Таблиця 5.15. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту[12]

| № п/п | Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки   | Ймовірність отримання ресурсів | Строки реалізації |
|-------|--|--------------------------------|-------------------|
| 1     | Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу.   | Висока                         | 5 міс.            |
| 2     | Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.<br>Вдосконалення системи за рахунок інноваційних технологій | Середня                        | 3 міс.            |
| 3     | Стратегія виходу з ринку   | Середня                        | 4 міс.            |

Виконавши аналіз альтернатив впровадження стартап-проєкту обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

### 5.3. Розроблення ринкової стратегії проєкту

У процесі розроблення ринкової стратегії початковим етапом є визначення стратегії охоплення ринку. Зокрема описуються цільові групи потенційних споживачів.

Таблиця 5.16. Вибір цільових груп потенційних споживачів [12]

| № п/п   | Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів | Готовність споживачів сприйняти продукт | Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту) | Інтенсивність конкуренції в сегменті | Простота входу у сегмент |
|---|--|---|---|--------------------------------------|--------------------------|
| 1   | Фізичні особи                                    | Так                                     | Високий   | Висока                               | Середня                  |
| 2   | Кіноіндустрія                                    | Так                                     | Високий   | Висока                               | Просто                   |
| 3   | Телеіндустрія                                    | Так                                     | Середній  | Середня                              | Просто                   |
| 4   | Військова індустрія                              | Так                                     | Високий   | Висока                               | Просто                   |
| Як цільові групи обрано: кіноіндустрія та військова індустрія |  |   |   |                                      |                          |

За результатами аналізу потенційних груп споживачів було обрано цільові групи, а саме кіноіндустрія та військова індустрія, де попит на такого роду системи дуже сильно зростає, що потенційно забезпечить більший прибуток.

Для того, щоб здійснювати роботу в обраному сегменті ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку (табл. 5.17).

Таблиця 5.17. Визначення базової стратегії розвитку [12]

| № п/п | Обрана альтернатива розвитку проєкту  | Стратегія охоплення ринку              | Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи | Базова стратегія розвитку* |
|-------|---|--|--|----------------------------|
| 1     | Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями | Стратегія диференційованого маркетингу | Адаптація під сучасні вимоги та актуальні потреби для системи          | Стратегія диференціації    |

Стратегією охоплення ринку було обрано диференційований маркетинг, що дозволить сконцентруватися на основних характеристиках продукту для забезпечення обраних ринків збуту.

Базовою стратегією розвитку бути обрано стратегію диференціації тому, що вона надає товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів. Така відмінність може базуватися на об'єктивних або суб'єктивних, відчутних і невідчутних властивостях товару.

Наступним етапом опишемо вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.18)

Таблиця 5.18. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки[12]

| № п/п | Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку? | Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів? | Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?  | Стратегія конкурентної поведінки*   |
|-------|--|--|--|-------------------------------------|
| 1     | Ні                                     | Забирати існуючих  | Лише ті характеристики, що обмежуються специфікою системи.<br>До них відноситься:<br>- метрологічні характеристики;<br>- габаритні розміри;<br>- принцип дії | Стратегія заняття конкурентної ніші |

Використання характеристик аналогічних чи подібних від систем конкурентів обумовлене тим, що вони належать до основних технічних характеристик і диктуються апаратними складовими. У якості стратегії конкурентної поведінки обрано стратегію заняття конкурентної ніші, оскільки головне завдання даної стратегії, – це постійна турбота про підтримку і розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.

На основі вимог споживачів відповідно до обраного сегменту до постачальника і продукту, а також у залежності від обраних стратегій розвитку та конкурентної поведінки здійснюємо розробку стратегії позиціонування (табл. 5.19), яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають здійснювати ідентифікацію проєкту.

Таблиця 5.19. Визначення стратегії позиціонування [12]

| № п/п | Вимоги до товару цільової аудиторії                              | Базова стратегія розвитку | Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проєкту   | Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проєкту (три ключових)              |
|-------|--|---------------------------|--|---|
| 1     | Універсальність, простота у використанні, якісність, доступність | Стратегія диференціації   | Збереження співвідношення ціна/якість.<br>Універсальність застосування системи.<br>Постійне удосконалення інноваційними технологіями | Доступність.<br>Висока надійність системи та стійкість до різних кліматичних умов.<br>Універсальність |

У результаті виконання даної частини розділу було сформульовано та отримано систему рішень, щодо ринкової поведінки компанії. Продукт позиціонується, як система, що має високу надійність, універсальність та доступну ціну.

#### **5.4. Розроблення маркетингової програми та плану реалізації стартап-проєкту**

У процесі розробки маркетингової програми першим етапом є розробка маркетингової концепції товару, який отримає клієнт. У таблиці 5.20 виконуємо підсумування результатів аналізу конкурентоспроможності товару[12].

Таблиця 5.20. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

| № п/п | Потреба  | Вигода, яку пропонує товар  | Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)   |
|-------|--|---|--|
| 1     | Універсальність використання системи стабілізації                              | Забезпечення використання системи для різних цілей з можливістю простої заміни модулів чи певних параметрів   | Застосування модульної структури для пристрою з автоматизованою системою стабілізації  |
| 2     | Висока якість та доступність продукту  | Досягнення оптимальних показників в співвідношенні ціна\якість  | Використання доступних засобів оптимізації для зменшення собівартості товару   |
| 3     | Адаптація до різних екстремальних погодних умов і\або навколишнього середовища | Забезпечення використання системи у різних екстремальних умовах, що дає змогу використовувати пристрій з даною системою без зайвого ризику для життя людини | Здатність системи адаптуватися до різних екстремальних кліматичних умов, що збільшує ареал застосування автоматизованої системи стабілізації |

Дані переваги, що надають продукту потенціал для розвитку на ринку в обраній ніші, є важливими. Ключовою перевагою можна вважати адаптацію до різних екстремальних погодних умов і\або навколишнього середовища, оскільки це дає змогу використовувати продукт будь-де, за будь-яких умов без необхідності додаткового переоснащення чи використання додаткових витрат на вдосконалення системи.

Наступним етапом варто розглянути та побудувати таблицю опису трьох рівнів моделі товару (табл. 5.21).



Таблиця 5.21. Опис трьох рівнів моделі товару [12]

| Рівні товару   | Сутність та складові   |      |             |
|--|--|------|-------------|
| I. Товар за задумом  | Універсальна, автоматизована система стабілізації камери з оптимальними показниками якості, надійності та ціновими показниками |      |             |
| II. Товар у реальному виконанні  | Властивості/характеристики   | М/Нм | Вр/Тх/Тл/Ор |
|  | 1. Універсальність   | М    | Тх          |
|  | 2. Технологічність   | М    | Тх          |
|  | 3. Надійність  | М    | Тх          |
|  | 4. Модульність   | М    | Тх          |
|  | 5. Економічність   | Нм   | Вр          |
|  | Якість: IP67   |      |             |
|  | Пакування: картонне пакування з захисним ущільнювачем, нанесена захисна плівка   |      |             |
| Марка: GodHunter- Stabilization  |  |      |             |
| III. Товар з підкріпленням   | До продажу: рекламна компанія, усунення потенційно можливих проблем, перевірка працездатності системи                          |      |             |
|  | Після продажу: доставка товару, надання послуг обслуговування та консультації у відповідних центрах, гарантійні зобов'язання   |      |             |
| За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патент, сертифікований документ. |  |      |             |

Було описано три рівня моделі товару стратап-проекту. В результаті придбання даного товару споживач отримує доставку придбаного пристрою, високий рівень захисту виробу при доставці, гарантію від виробника та право на сервісне обслуговування. Варто зазначити, що розробка потребує захисту від копіювання, тому є необхідність у патентуванні продукту.

Наступний етап включає у собі визначення меж встановлення ціни, що відображено у відповідній таблиці 5.22.

Таблиця 5.22. Визначення меж встановлення ціни [12]

| № п/п | Рівень цін на товари-замінники | Рівень цін на товари-аналоги | Рівень доходів цільової групи споживачів | Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу |
|-------|--------------------------------|------------------------------|--|---|
| 1     | 9000-13000                     | 10000-40000                  | 8000-40000                               | 8000-10000  |

Для даної системи обрано середній ціновий сегмент, щоб мати можливість надавати якісний продукт і дотримуватися умов щодо оптимальних цінових категорій.

Таблиця 5.23. Календарний план-графік підготовки стартап-проєкту [12]

| Стадія стартапу     | Період запуску (за місяцями з початку підготовки проєкту) |                      |                      |                      |                 | Вартість стадії, грн |
|---------------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------|----------------------|
|                     | 1   | 2                    | 3                    | 4                    | 5               |                      |
| Передпосівна        | 01.12.23<br>01.01.24                                      |                      |                      |                      |                 | -                    |
| Посівна             |   | 01.01.24<br>01.02.24 |                      |                      |                 | 15000                |
| Прототипування      |   |                      | 01.02.24<br>01.04.24 |                      |                 | 100000               |
| Закрита бета-версія |   |                      |                      | 01.04.24<br>01.05.24 |                 | 130000               |
| Ведення бізнесу     |   |                      |                      |                      | від<br>01.05.24 | 200000               |
| Разом               |   |                      |                      |                      |                 | 345000               |

Після завершення визначення меж встановлення цін варто описати формування системи збуту, та відобразити це у таблиці (5.24).

Таблиця 5.24. Формування системи збуту [12]

| № п/п | Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів  | Функції збуту, які має виконувати постачальник товару  | Глибина каналу збуту | Оптимальна система збуту |
|-------|--|--|----------------------|--------------------------|
| 1     | Закупівля продукту в малій і\або середній кількостях | Відповідність встановленим умовам транспортування (доставки) продукції, надання послуг обслуговування та консультації у відповідних центрах, виконання наданих гарантійних зобов'язань | Нульового рівня      | Пряма                    |

Відповідно отриманій таблиці формування системи збуту маємо продаж товарів у малій та середній кількості товару, що є поширеним для галузі, глибина каналу нульового рівня а оптимальна система збуту пряма. На основі цих даних виробник являється безпосереднім продавцем на надавачем послуг щодо обслуговування та підтримки користувачі.

Таблиця 5.25. Початкові вкладення на запуск стартап-проєкту [12]

| Види витрат   | Вартість |
|---|----------|
| НДДКР   | 5000     |
| Захист прав на об'єкти інтелектуальної власності                      | 10000    |
| Створення робочого прототипу, проведення експериментальних досліджень | 25000    |
| Просування проєкту  | 60000    |
| Витрати на утримання команди  | 40000    |
| Закупівля обладнання  | 35000    |
| Орієнтована собівартість першого продукту                             | 8000     |
| РАЗОМ   | 183000   |
| Витрати, які бере на себе стартапер                                   | 73000    |
| Необхідні інвестиції  | 110000   |

Останнім етапом у даному підрозділі є опис концепції маркетингових комунікацій (табл. 5.26).

Таблиця 5.26. Концепція маркетингових комунікацій [12]

| № п/п | Специфіка поведінки цільових клієнтів  | Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти | Ключові позиції, обрані для позиціонування  | Завдання рекламного повідомлення   | Концепція рекламного звернення   |
|-------|--|--|---|--|--|
| 1     | Вимоги до якісної та надійної роботи системи, адаптації до навколишніх факторів, забезпеченості модульної структури продукту | Різні інтернет-платформи, виставки та конференції      | Доступність.<br>Висока надійність системи та стійкість до різних кліматичних умов.<br>Універсальність | Інформування про створену систему, заохочування потенційних клієнтів до купівлі, демонстрація переваг продукту | Виставки та конференції, реклама, особисті зустрічі з потенційними інвесторами |

Аналізуючи дані, стає зрозуміло, що дана таблиця містить у собі інформацію щодо специфіки поведінки цільової аудиторії, каналів комунікації цільової аудиторії, ключові позиції щодо позиціонування, а також завдання та концепцію реклами продукції. Цю інформації слід використати у маркетинговій комунікації для просування обраного стартап-проекту за допомогою засобів масової інформації з метою залучення клієнтури.

## 5.5. Висновки до розділу

Розглянутий розділ присвячений розробці та опису стартап-проекту для розробленої автоматизованої системи стабілізації камери.

При виконанні маркетингового аналізу стартап-проекту визначено головну ідею – автоматизована система стабілізації камери на базі гіроскопічного чутливого елемента. Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що продукт може мати попит високий серед споживачів та має високу рентабельність, що в свою

чергу має звернути увагу інвесторів та заохочування їх для фінансування проєкту. Також було виконано аналіз потенційних споживачів і визначено слабкі та сильні сторони проєкту, які впливають життєздатність стартапу.

Після проведення технологічного аудиту можна зробити висновок, що для впровадження проєкту необхідні існуючі(наявні) технології. Технологія реалізації ідеї спирається на інноваційність підходу та зосереджена саме на керуванні процесом стабілізації зображення. Всі пункти, наведені вище, полягають у програмуванні мікроконтролера. Також необхідно зберігати необхідне співвідношення ціна\якість та забезпечити універсальність системи.

Для забезпечення постійного прибутку потрібно правильно позиціонувати продукт шляхом рекламної компанії, зокрема, інформування про створену систему на різних інтернет-платформи, заохочування потенційних клієнтів до купівлі, демонстрація переваг продукту на виставки та конференціях, особистих зустрічах з потенційними інвесторами.

Стартап-проєкт є потенційно перспективним для низки галузей, та може мати попит, навіть якщо враховувати певну конкуренцію серед цільових сегментів. Головними проблемними питаннями залишаються стабільна сервісна підтримка, залежність продукту від модифікацій, можливе швидке старіння товару, а також фінансове забезпечення.

## ВИСНОВКИ

Робота що була проведена у магістерській дисертації надає можливість розширити можливості забезпечення процесу стабілізації з вищою точністю та надійністю. Було ретельно розглянуто принципи стабілізації, методи та технічні засоби, а також описано переваги, недоліки та особливості кожного з них.

Магістерська дисертація включає у собі наступний перелік розглянутих питань та матеріалів:

- розглянуто поняття процесу стабілізації та його теоретичних основ, описано особливості забезпечення стабілізації для камери. Описано що собою представляє автоматизована система стабілізації, її функціональність, особливості та переваги застосування:

- розглянуто різновиди методів стабілізації. Розглянуто які чутливі елементи використовуються у таких системах. Окрему увагу приділено використанню гіроскопу у системі автоматизованої стабілізації камери;

- розглянуто питання гіроскопічного стабілізатора, його принцип дії та особливості. Детально розглянуто та описано механічну та математичну моделі;

- виконано експериментальні дослідження характеристик гіроскопічного стабілізатора для системи автоматизованої стабілізації;

- розроблено стартап-проєкт на базі проєктованої автоматизованої системи стабілізації камери. У стартапі було описано ідею проєкту, доцільність цієї розробки та її просування на ринку. Описано потенційних клієнтів та можливих вимог до системи. Визначено загрози та можливості, а також недоліки та переваги, розглянуто методи нівелювання поганих аспектів. Розглянуто питання конкуренто спроможності проєкт, затрат на його розробку та орієнтовні часові рамки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Нечай, С.О. Дослідження ефективності систем стабілізації зображення фотокамер / С.О. Нечай, Т.В. Хильченко // Журнал “Вісник Національного технічного університету ХПІ ” Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. — 2015. — № 22. — С. 35-38.
2. Карпухин, И. В. Способы стабилизации изображения / И. В Карпухин // Журнал “Евразийский научный журнал”. — 2016. —№ 2. — С. 1967-1978.
3. Безвесільна О.М., Котляр С.С., Горжий І.В. Автоматизована система стабілізації. Житомирська політехніка. Секція 7. Комп’ютерно-інтегровані технології. Приладобудування, 147 [Електронне джерело]: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/02/147.pdf>
4. Mirzaei Faraz M., Member Student, Roumeliotis Stergios I. A Kalman filterbased algorithm for IMU-camera calibration // in Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst. — 2008. — P. 2427–2434. — Access mode: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.157.6717>.
5. Все, що необхідно знати про системи стабілізації зображення. [Електронне джерело]. Режим доступу: <https://ek.ua/ua/post/949/206-vse-chto-nuzhno-znat-o-sistemakh-stabilizatsii-izobrazheniya/>
6. Гіроскоп. Розділ 2. Опис. [Електронне джерело]. Режим доступу: <https://www.wikiwand.com/uk/%D0%93%D1%96%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF>
7. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

# ДОДАТКИ