

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Приладобудівний факультет**  
**Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

«На правах рукопису»  
УДК 681.7

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ **Юрій КИРИЧУК**  
(підпис)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

**Магістерська дисертація**  
**на здобуття ступеня магістра**  
**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно - інтегровані**  
**технології проектування приладів»**  
**зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно - інтегровані**  
**технології**

на тему: *автоматизація системи стабілізації камери при зйомках з рук*

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ПМ-01мп  
(шифр групи)

\_\_\_\_\_ **Горжій Ігор Володимирович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник д.т.н., професор Олена БЕЗВЕСІЛЬНА

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Консультант стартап-проект д.е.н. проф. Катерина БОЯРИНОВА

(назва розділу)

(посада, вчене звання, Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Рецензент к.т.н., доцент Марина ДОБРОЛЮБОВА

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

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

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Приладобудівний факультет**  
**Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітньо-професійна програма Комп'ютерно-інтегровані технології проектування приладів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ **Юрій КИРИЧУК**

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

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

*Горжю Ігору Володимировичу*  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації

*Автоматизація системи стабілізації для камери при зйомках з рук*  
науковий керівник дисертації Безвесільна О.М., д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 03 » листопада 2021р. № 3664

2. Строк подання студентом дисертації 17.12.2021

3. Перелік завдань, які потрібно розробити

*1. Огляд теоретичних матеріалів за темою магістерської дисертації; 2. Огляд існуючих аналогів; 3. Розробка математичної моделі системи; 4. Побудова структурної схеми та розрахунок передаточної функції. 5. Побудова перехідного процесу та частотних характеристик; 6. Дослідження впливу конструктивних параметрів на швидкодію приладу;*

4. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Презентаційний лист 1арк. А1; складальний кресленник 1арк. А1; креслення деталей 1арк. А1; графіки 2арк. А1; схеми та інші графічні матеріали 3арк. А3;

5. Орієнтовний перелік публікацій дві статті за темою магістерської дисертації

6. Консультанти розділів дисертації\*

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

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	<i>Отримання завдання на магістерську дисертацію.</i>		
2	<i>Формулювання змісту та основних напрямів дослідження.</i>		
3	<i>Пошук технічної літератури та інформаційних джерел за темою магістерської дисертації.</i>		
4	<i>Огляд та аналіз сучасних систем стабілізації камери.</i>		
5	<i>Огляд теорії гіростабілізаторів.</i>		
6	<i>Розробка математичної моделі системи.</i>		
7	<i>Побудова структурної схеми, визначення передаточної функції.</i>		
8	<i>Побудова перехідного процесу та частотних характеристик.</i>		
9	<i>Дослідження впливу конструктивних параметрів на швидкодію приладу.</i>		

Студент

(підпис)

Ігор ГОРЖИЙ

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Науковий керівник дисертації \_\_\_\_\_

(підпис)

Олена БЕЗВЕСІЛЬНА

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

\* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з чотирьох розділів, які містять 110 сторінок, 76 ілюстрацій, 26 таблиць та 15 використаних інформаційних джерел.

**Мета роботи:** розробка та дослідження автоматизованої системи стабілізації камери при зйомках з рук.

**Актуальність:** оскільки науко-технічний прогрес не стоїть на місці і суспільство постійно розвивається, зростають і вимоги до якості фото- та відеозаписів. З кожним роком сфера використання камер продовжує зростати: охоронні та реєструючі системи, професійні фотоапарати та аматорські камери, камери у телефонах тощо. Телебачення і кіно широко застосовуються у наукових, навчальних, інформаційних і розважальних цілях. Зйомки часто ведуться з наземних, літальних, надводних і підводних рухомих об'єктів. У таких умовах зйомки оптичні прилади часто схильні до хитання або вібрації рухомої основи, на якій вони встановлені. Для отримання якісних відеозаписів та фотографій прилад необхідно стабілізувати для нівелювання цих вібрацій.

**Предметом дослідження** є розроблена система стабілізації камери.

**Об'єктом дослідження** є технічні та метрологічні характеристики системи стабілізації камери, а також характер її перехідного процесу та частотних характеристик.

**В першому розділі** проведено огляд найпоширеніших методів стабілізації та фактори впливу на якість зйомки.

**В другому розділі** розглянуто матеріали по теорії гіроскопічних стабілізаторів.

**В третьому розділі** спроектовано систему стабілізації, розроблено її структурну схему та розраховані передаточні функції. Результати проаналізовані та побудовано графік перехідного процесу, частотні та логарифмічні характеристики. Система перевірена на стійкість. Також проведено дослідження впливу конструктивних параметрів на швидкодію системи.

**В четвертому розділі** було розроблено базовий етап стартап-проекту та проаналізовані результати.

**Ключові слова:** стабілізація, система стабілізації, камера.



## ABSTRACT

The master's dissertation consists of four sections, which contain 110 pages, 76 illustrations, 26 tables and 15 used information sources.

**Purpose:** development and research of an automated camera stabilization system for hand-held shooting.

**Relevance:** as scientific and technological progress does not stand still and society is constantly evolving, the requirements for the quality of photos and videos are growing. The use of cameras continues to grow every year: security and recording systems, professional and amateur cameras, cameras in phones and much more. Television and film production are widely used for scientific, educational, informational and entertainment purposes. Shooting is often done from land, aircraft, surface and underwater moving objects. In such conditions, cameras are often prone to vibration or vibration of the moving base where they are mounted. To obtain high-quality videos and photos, the device must be stabilized to reduce these vibrations.

**The subject of research** is the developed camera stabilization system.

**The object of research** is the technical, metrological characteristics of the system, transient process and frequency characteristics.

**The first section** reviews the most common stabilization methods and factors influencing the quality of shooting.

**The second section** considers materials on the theory of gyroscopic stabilizers.

**In the third section** we designed the stabilization system, developed its structural scheme and calculated transfer functions. The results were analyzed and the transient, frequency and logarithmic characteristics were constructed. The system was tested for stability. Research of the impact of design parameters on system performance was also conducted.

**In the fourth section** the basic stage of the startup project was developed and the results were analyzed.

**Key words:** stabilization, stabilization system, camera.

## Зміст

Перелік скорочень та умовних позначень .....	4
Вступ.....	5
1. Введення в теорію стабілізації .....	6
1.1. Фактори впливу на якість зйомки .....	6
1.2. Аналіз способів стабілізації.....	7
1.3. Висновки .....	10
2. Теорія гіростабілізаторів .....	11
2.1. Одновісні гіроскопічні стабілізатори .....	11
2.2. Тривісні гіроскопічні стабілізатори .....	45
3. Проектно-конструкторський розділ .....	50
3.1. Огляд аналогів.....	50
3.2. Постановка задачі .....	58
3.3. Опис принципу дії та конструкції пристрою .....	59
3.4. Структурна схема .....	60
3.5. Вибір конструктивних елементів.....	62
3.6. Розрахунок передаточних функцій пристрою .....	67
3.7. Перехідний процес .....	68
3.8. Частотні характеристики .....	70
3.9. Стійкість системи. Визначення стійкості критерієм Гурвіца. ....	74
3.10. Побудова логарифмічних частотних характеристик .....	74
3.11. Дослідження впливу конструктивних параметрів на швидкодію приладу та характер перехідного процесу .....	77
3.12. Висновки по конструкторському розділу .....	86
4. Розробка стартап-проекту .....	86
4.1. Опис ідеї та технологічний аудит проекту .....	87
4.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	88
4.3. Розробка ринкової стратегії проекту .....	99
4.4. Розробка маркетингової програми стартап-проекту.....	101
4.5. Висновки.....	107
Висновки .....	108
Література .....	109
Додатки	

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Горжій				Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.						3	
Реценз.					<b>ПБФ, ПМ-01мп</b>		
Н. Контр.							
Затверд.							

## Перелік скорочень

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;

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						4
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ВСТУП

Сьогодні з розвитком суспільства зростають і вимоги до якості фото- та відеозаписів. Сфера використання фотокамер з кожним роком продовжує зростати: охоронні та реєструючі системи, професійні фотоапарати та аматорські камери, камери у телефонах тощо [1]. Телебачення і кіно широко застосовуються у наукових, навчальних, інформаційних і розважальних цілях. Зйомки часто ведуться з наземних, літальних, надводних і підводних рухомих об'єктів. У таких умовах зйомки оптичні прилади часто схильні до хитання або вібрації рухомої основи, на якій вони встановлені. Для отримання якісних відеозаписів та фотографій прилад необхідно стабілізувати для нівелювання цих вібрацій.

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						5
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

# 1.ВВЕДЕННЯ В ТЕОРІЮ СТАБІЛІЗАЦІЇ ОПТИЧНИХ ПРИЛАДІВ

В даному розділі проведено короткий огляд найпоширеніших методів стабілізації камери, проведено оцінку точності стабілізації та проаналізовані фактори, що впливають на неї.[2,3,4]

## 1.1.ОСНОВНІ ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА ЯКІСТЬ ЗЙОМКИ

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.[3]

Окрім зміщення зображення при експлуатації у таких умовах, відбувається і «обрізання» картинки. І головна проблема полягає в тому, що вібрація є непередбачуваним процесом, не може бути наперед врахована, описана, а отже, і повністю компенсована якимось певним алгоритмом. Подібне погіршення зображення дуже ускладнює завдання детекції, а тим паче розпізнавання. Варто враховувати, що для довгофокусних об'єктивів вплив вібрації буде найбільш критичним. І навіть невелике переміщення камери може викликати колосальне зміщення картинки, що при великих збільшеннях неприпустимо. Мала вібрація є практично завжди, але зазвичай її просто не враховують [2].

Для приладів, що працюють з рук, останні можуть розглядатися як рухома основа. Дія нервово-м'язового апарату рук при нарузі на згинах суглобів, необхідна для підтримки приладу, супроводжується тремтінням, яке у біології має спеціальну назву – тремор. Суглобовий тремор залежить як від виду управління суглобним кутом, так і від психофізичного стану оператора. У даний час слід вважати, що спектр кутових коливань тремору має максимум при 10 Гц, де амплітуда кутових коливань має величину від 10 до 20', і в низькочастотній області у діапазоні від 1 Гц до 2 Гц, де амплітуда кутових коливань досягає 1°. Кутові

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

коливання приладу залежать також від ваги приладу, відстані від рук до центру тяжіння та ін.[2]

Тремтіння рук викликає зменшення контрастності зображення і погіршення межі розширення ока через інерційність зору. При малих частотах переміщення об'єкту, що має малу відносну швидкість, мускулатура очей встигає відпрацювати рух об'єкта спостереження і змазування зображення на сітківці невелике. При великих частотах мускулатура ока не встигає за цим об'єктом, і за інерцією зображення змазується, втрачаючи деталі і контраст. Тому потрібна стабілізація. [3]

## 1.2.АНАЛІЗ СПОСОБІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ

**Цифрова стабілізація.** Принцип роботи алгоритмів цифрової стабілізації зображення полягає у програмній обробці відеосигналу із сенсора камери. При увімкненні режиму стабілізації відеокамера фіксує центр зображення, і при виникненні вібрації реальна картинка зміщується у протилежну від переміщення кадру сторону. Так центр кожного обробленого кадру опиняється у центрі зображення, що передається відеокамерою, і виключаються "качання" кадру на екрані. Однак цей алгоритм має й негативні сторони. У першу чергу, обрізаються периферійні області кадру, а значить, пропадає і вся корисна інформація щодо країв зображення. По-друге, внаслідок роботи алгоритмів, можливе ще більше погіршення реальної роздільної здатності відеокамери. [3]

**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

					<b>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</b>	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відеоряду має інформацію: куди необхідно змістити поточне зображення, щоб при суміщенні з попередніми кадрами виходила чітка незмазана картина. [3]

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. [3]

**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

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вкладень. Крім того, додатковий оптичний елемент може негативно позначатися і на наступних експлуатаційних характеристиках системи відеоспостереження: чутливість, стабільність роздільної здатності.[3]

**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.

**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 [4]. Крім того, на таку платформу можуть бути встановлені будь-які камери.

В таблиці 1.1. зазначено переваги та недоліки різних видів стабілізації зображення:

Таблиця 1.1- Переваги та недоліки різних видів стабілізації

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> </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>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>Об'єктив може бути використаний з будь-якою камерою з відповідним кріпленням</li> </ul>	
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>
Рухома 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>

### 1.3.ВИСНОВКИ

Сьогодні існує дуже багато методів та 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.

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

## 2. ТЕОРІЯ ГІРОСКОПІЧНИХ СТАБІЛІЗАТОРІВ

### 2.1. ОДНОВІСНІ ГІРОСКОПІЧНІ СТАБІЛІЗАТОРИ

Одновісні гіростабілізатори (далі ГС) забезпечують задану орієнтацію стабілізованого елемента (платформи) щодо однієї осі. Вони знаходять застосування в авіації і ракетній техніці і є складовою частиною двох- і тривісних ГС.

#### 2.1.1 Одновісний силовий гіростабілізатор

Основні принципи і схеми силової стабілізації були розроблені ще в 1924 р С.А. Ноздровскім, але використання силових ГС в різних гіроскопічних системах розпочалося тільки в кінці 30-х років. Кінематична схема одновісного силового ГС наведена на рис.2.1. Основними елементами одновісного силового ГС є: двоступеневий гіроскоп 1 з датчиками кутів 2 і моментів 7; платформа 3 з об'єктом стабілізації 4; підсилювач стабілізації 6 і двигун стабілізації 5. При необхідності вимірювати кутові коливання об'єкта, на якому встановлений ГС, по осі обертання платформи розміщують датчик кута (датчик команд) 8.[5]

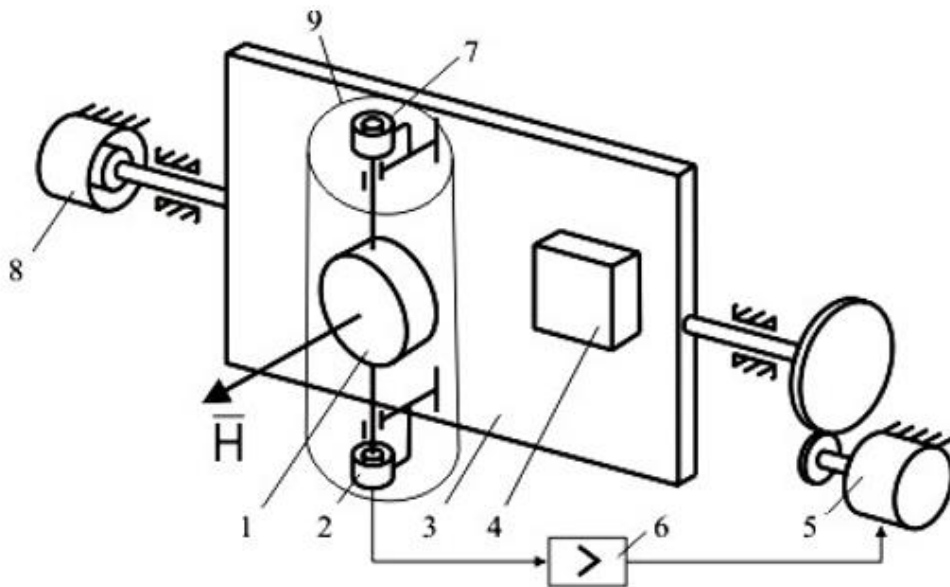


Рис. 2.1. Кінематична схема одноосного силового гіростабілізатора:

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

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

8 - датчик команд; 9 – гіроблок;

Домовимося називати вісь підвісу платформи - віссю стабілізації, вісь підвісу гіроскопа - віссю прецесії, а вісь гіроскопа, перпендикулярну вісі власного обертання і прецесії - віссю чутливості. Гіроскоп розміщують на платформі так, щоб в положенні покою вісь чутливості була паралельна вісі стабілізації. Гіроскоп разом з датчиками кутів і двигунами стабілізації, струмопідводами, пристроями для балансування та іншими елементами виконуються, зазвичай, у вигляді окремого приладу, що називається гіроблоком. Ротори датчиків кутів і моментів встановлюються на цапфах вісі підвісу гіроскопа, а їх статори закріплюються в корпусі гіроблока. Сигнал з датчика кута гіроблока, пропорційний куту повороту гіроскопа навколо вісі прецесії, подається на вхід підсилювача стабілізації, з виходу якого надходить на керовану обмотку двигуна стабілізації [5]. Управління двигуна таке, що його дія на платформу обумовлює рух гіроскопа в сторону зменшення кута прецесії. Сукупність гіроскопа, датчика кута, підсилювача стабілізації і двигуна стабілізації з редуктором називають системою стабілізації, а ланцюг датчик кута - підсилювач - двигун стабілізація з редуктором - ланцюгом стабілізації. Розглянемо основний принцип дії ГС. Нехай платформа і гіроскоп перебували в покої, і в певний момент часу на платформу подіяв збурюючий момент  $M_1$ . Момент  $M_1$  для спрощення вважатимемо постійним. Весь процес стабілізації умовно можна поділити на три етапи. Першим етапом, є поворот гіроскопу навколо осі прецесії з кутовою швидкістю прецесії  $\dot{\beta} = \frac{M_1}{H}$ .

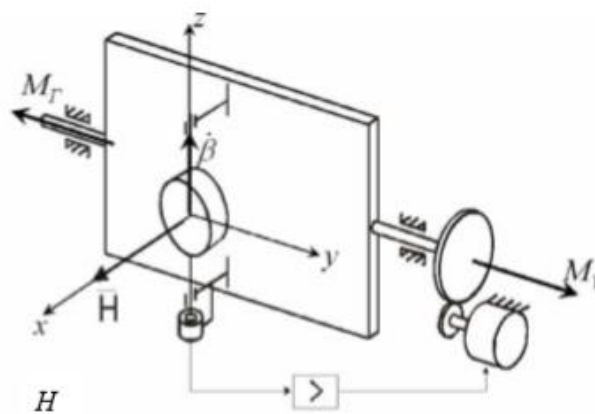


Рис.2.2 Кінематична схема першого етапу стабілізації

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

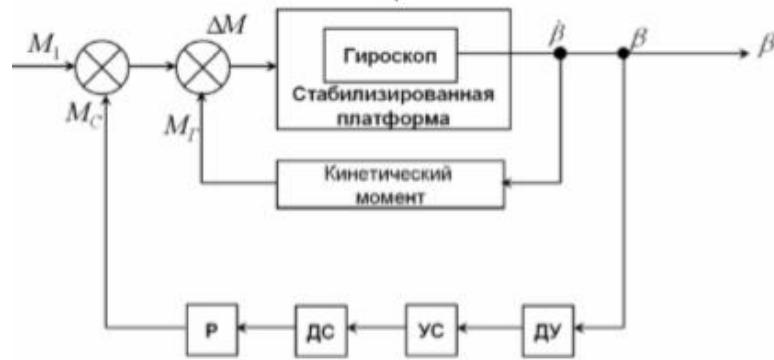


Рис.2.3 Структурна схема гіростабілізатора

Завдяки прецесії гіроскопа виникає гіроскопічний момент  $M_r = H \cdot \dot{\beta}$ , який впливає на платформу і по величині дорівнює зовнішньому моменту:

$$M_r = H \cdot \dot{\beta} = H \cdot \frac{M_1}{H} = M_1, \quad (2.1)$$

а по напрямку протилежний йому. Сумарна дія цих моментів на платформу дорівнює нулю, тобто:

$$\Delta M = M_1 - M_r = 0.$$

Оскільки в рамках прецесійного пояснення гіроскоп є безінерційний, то вжатимемо, що рівність (1.1) досягається майже миттєво і платформа не встигає відхилитися від початкового положення. На цьому етапі платформа стабілізується безпосередньо гіроскопічним моментом гіроскопа. [6]

На другому етапі стабілізації в міру прецесії гіроскопа з кутовий швидкістю  $\dot{\beta}$ , він повертається на кут  $\beta$  і з датчика кута (ДК) починає зніматися сигнал (рис.1.3), після посилення якого в підсилювачі стабілізації (П) надходить на двигун стабілізації (ДС).

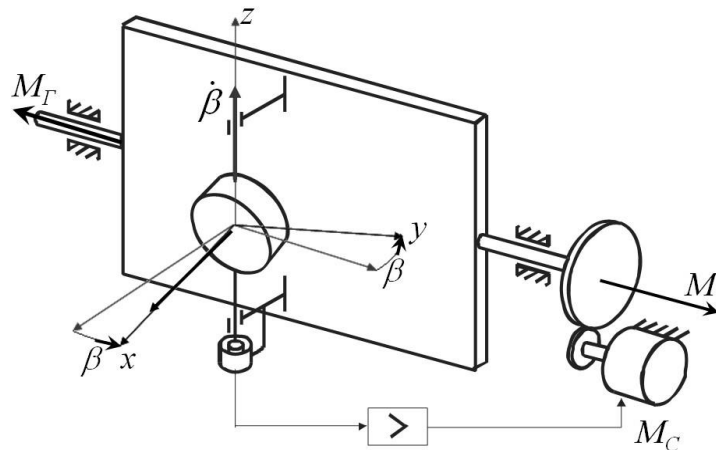


Рис. 2.4. Кінематична схема другого етапу стабілізації

				<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>		Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Двигун в свою чергу прикладає до платформи момент, спрямований протилежно зовнішньому моменту:

$$M_c = i \cdot K_{dc} \cdot K_y \cdot K_{dy} \cdot \beta = K \cdot \beta, \quad (2.2)$$

де  $i$  - передаточне число редуктора;  $K_{dy}$ ,  $K_y$ ,  $K_{dc}$  - коефіцієнти передачі двигуна стабілізації, підсилювача і датчика кута відповідно;  $K$  - коефіцієнт посилення ланцюга стабілізації.

Сумарний момент, який діє на платформу, буде визначатися як різниця зовнішнього моменту, гіроскопічного моменту та моменту двигуна стабілізації:

$$\Delta M = M_1 - M_G - M_c. \quad (2.3)$$

Оскільки до впливу на платформу зовнішнього моменту  $M_1$  додався вплив моменту  $M_c$  двигуна стабілізації, то кутова швидкість прецесії на цьому етапі зменшиться і буде визначатися виразом:

$$\dot{\beta} = \frac{M_1 - K \cdot \beta}{H}. \quad (2.4)$$

Отже, і на другому етапі сумарний вплив на платформу:

$$\Delta M = M_1 - H \cdot \frac{M_1 - K \cdot \beta}{H} - K \cdot \beta = 0,$$

Досягається це спільною протидією зовнішньому моменту з боку гіроскопа і двигуна.

На третьому етапі стабілізації при подальшому збільшенні кута  $\beta$  момент  $M_c$  двигуна стабілізації зростає до величини зовнішнього моменту  $M_1$ .

При цьому прецесія гіроскопа припиниться, гіроскопічний момент  $M_G$  стане рівним нулю, а вплив на платформу цілком урівноважиться двигуном стабілізації, тобто:

$$\Delta M = M_1 - M_c = M_1 - K \cdot \beta_{cm} = 0,$$

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

На останньому етапі стабілізації платформа стабілізується тільки двигуном стабілізації. Процес встановлення гіроскопа в положення  $\beta_{cm}$  закінчується за соті частки секунди, а величина  $\beta_{cm}$  не перевищує одиниць градусів.

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки в рамках прецесійного пояснення гіроскоп є безінерційним, то можна вважати, що рівності :

$$\Delta M = M_1 - M_{\Gamma} - M_C = 0;$$

$$\Delta M = M_1 - M_{\Gamma} = 0;$$

$$\Delta M = M_1 - M_C = 0;$$

досягаються миттєво.

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  $\beta_{cm}$ , 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. Щоб кут  $\beta_{cm}$  при значних збуреннях  $M_1$  був малим, вибирають досить великий коефіцієнт посилення ланцюга стабілізації  $K$  [5].

Оскільки у розглянутому процесі стабілізації гіроскоп робить істотний силовий вплив на платформу, такі гіростабілізатори будемо називати силовими.

### Рівняння руху силового гіростабілізатора на нерухомій основі

Кінематична схема одновісного силового ГС представлена на рис. 2.5, а). Введемо наступні системи координат (рис. 2.5 б)):  $O\xi\eta\zeta$  – система координат, пов'язана з основою;  $Ox_n y_n z_n$  – система координат, пов'язана з платформою;  $Ox y z$  – система координат, пов'язана з гіроскопом (гіровузлом).

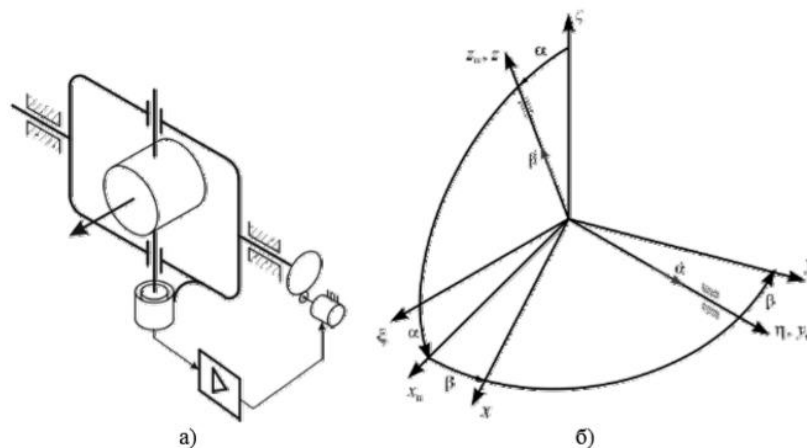


Рис. 2.5. Кінематична схема одновісного силового ГС і системи координат

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Позначимо:  $\alpha$  – 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. Коефіцієнт демпфування  
дорівнює

$$h = i^2 \cdot h_{oc}, \quad (2.5)$$

де  $h_{oc}$  – коефіцієнт демпфування двигуна стабілізації, визначається який по  
навантажувальній характеристиці двигуна.

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

$$\begin{aligned} \omega_{x_n} &= 0; \\ \omega_{y_n} &= \dot{\alpha}; \\ \omega_{z_n} &= 0. \end{aligned}$$

Проекції кутової швидкості гіроузла на осі системи координат  $Oxyz$  запишемо:

$$\begin{aligned} \omega_x &= \dot{\alpha} \sin \beta; \\ \omega_y &= \dot{\alpha} \cos \beta; \\ \omega_z &= \dot{\beta}. \end{aligned}$$

Для виведення рівнянь руху одновісного силового гіростабілізатора  
скористаємося методом кінетостатики (рис. 2.6). Сума моментів щодо вісі  
стабілізації дорівнює:

$$\begin{aligned} \sum \text{mom}_{y_n} &= 0; \\ -A\ddot{\alpha} - h\dot{\alpha} - H\dot{\beta} \cos \beta - K\beta + M_1 &= 0. \end{aligned} \quad (2.6)$$

Сума моментів щодо осі прецесії дорівнює:

$$\begin{aligned} \sum \text{mom}_z &= 0; \\ -B\ddot{\beta} + H\dot{\alpha} \cos \beta + M_2 &= 0. \end{aligned} \quad (2.7)$$

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Перепишемо рівняння (2.5) і (2.6) у вигляді:

$$\begin{aligned} A \cdot \ddot{\alpha} + h \cdot \dot{\alpha} + H \cdot \dot{\beta} + K \cdot \beta &= M_1; \\ B \cdot \ddot{\beta} - H \cdot \dot{\alpha} &= M_2. \end{aligned} \quad (2.8)$$

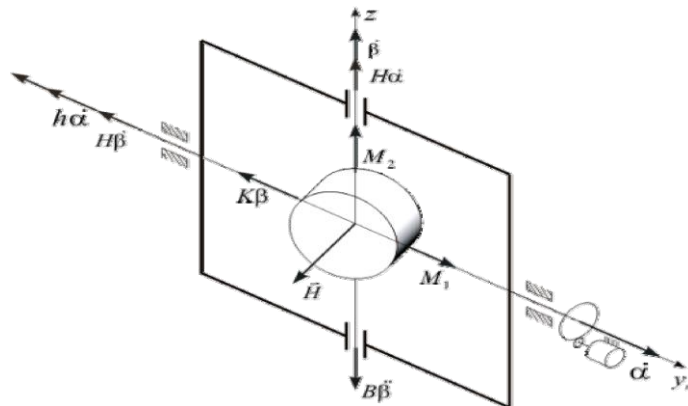


Рис. 2.6. Моменти по осях стабілізації і прецесії

До збурюючих моментів  $M_1$  і  $M_2$  можна віднести: моменти сил тертя в вісях підвісу платформи і вісях прецесії, моменти від неврівноваженості платформи і гіроскопа та інші. Момент стабілізації в системі рівнянь (2.7) прийнято без урахування постійних часу підсилювача і двигуна [6].

### Структурні схеми силового гіростабілізатора та його передаточні функції

У зв'язку з тим, що ГС представляють систему автоматичного керування, в якій об'єктом регулювання є механічна частина (платформа з гіроскопом і об'єкт стабілізації), а регулятором - ланцюг стабілізації, складемо його структурну схему. Для визначення перехідних процесів гіростабілізатора необхідно знайти передаточні функції по відношенню до впливів  $M_1(t)$  і  $M_2(t)$ . Передаточні функції визначаються з системи рівнянь (2.8) руху ГС або за допомогою побудови його структурних схем і подальшого їх перетворення. Скористаємося другим із зазначених способів. Побудова структурної схеми ГС вельми корисна також при вирішенні різних завдань аналізу і синтезу [7].

Як відомо, структурна схема системи автоматичного керування дає графічне представлення про залежності між зображеннями по Лапласу для зовнішніх збурень і для змінних даної системи. Тому для побудови структурної схеми

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17



використовуються диференціальні рівняння системи, записані в зображеннях по Лапласу.

Для рівнянь (2.8) застосуємо перетворення по Лапласу, тоді, та будемо вважати початкові умови нульовим. Отримаємо:

$$\begin{aligned} A \cdot p^2 \cdot \alpha(p) + h \cdot p \cdot \alpha(p) + H \cdot p \cdot \beta(p) + K \cdot \beta(p) &= M_1(p); \\ B \cdot p^2 \cdot \beta(p) - H \cdot p \cdot \alpha(p) &= M_2. \end{aligned} \quad (2.9)$$

Розв'яжемо перше рівняння відносно  $\alpha(p)$ , а друге відносно  $\beta(p)$ :

$$\begin{aligned} \alpha(p) &= \frac{1}{A \cdot p^2} \cdot [M_1(p) - h \cdot p \cdot \alpha(p) - H \cdot p \cdot \beta(p) - K \cdot \beta(p)]; \\ \beta(p) &= \frac{1}{B \cdot p^2} \cdot [M_2(p) + H \cdot p \cdot \alpha(p)]. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Наступним кроком кожне рівняння можна зобразити у вигляді деякої блок-схеми; їх сукупність буде представляти структурну схему ГС. Складена подібним чином структурна схема наведена на рис. 2.7. В середині кожної з ланок записано вираз його передаточної функції. Змінні величини ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) і зовнішні збурюючі моменти ( $M_1$ ,  $M_2$ ) дані в їх зображеннях по Лапласу, які для простоти запису позначені тими ж буквами, що й самі оригінали.

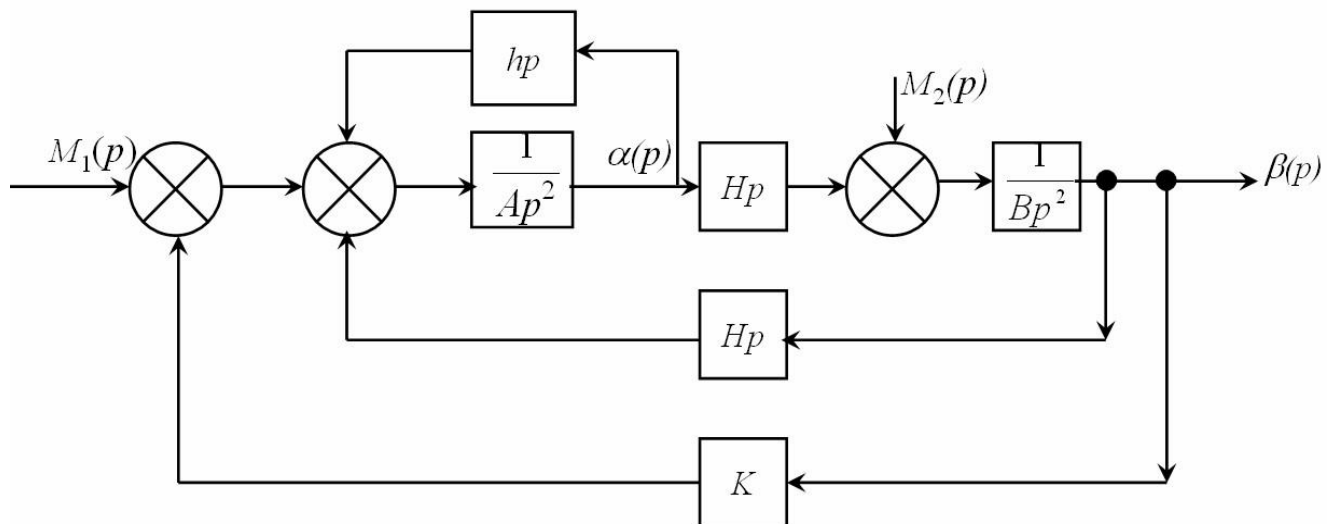


Рис. 2.7. Структурна схема силового гіростабілізатора

Щоб визначити передаточні функції ГС перетворимо вищеприведену структурну схему за допомогою правил, відомих з теорії автоматичного керування. Для визначення параметрів ГС необхідно отримати передаточні функції  $W_{\alpha_1 M_1}(p)$ ,  $W_{\alpha_1 M_2}(p)$ ,  $W_{\beta_1 M_1}(p)$ .

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Для визначення передаточних функцій  $W_{\alpha, M_1}(p)$  замкнутої системи ГС, необхідно перетворити структурну схему (рис.2.7), вважаючи  $M_2 = 0$ , до виду, представленому на рис.2.8.

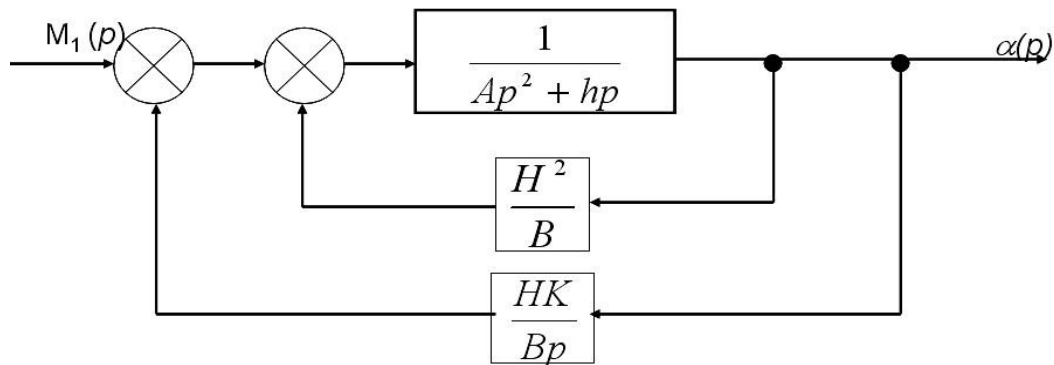


Рис. 2.8. Перетворена структурна схема ГС (при  $M_2=0$ )

Знайдемо передаточну функцію з структурної схеми (рис.2.8):

$$W_{\alpha, M_1}(p) = \frac{\frac{1}{Ap^2 + hp}}{1 + \frac{1}{Ap^2 + hp} \left( \frac{H^2}{B} + \frac{HK}{Bp} \right)} = \frac{Bp}{ABp^3 + Bhp^2 + H^2p + HK} \quad (2.11)$$

Далі будемо визначати передаточну функцію  $W_{\alpha_1 M_2}(p)$  ГС. Структурну схему (рис.2.8) представимо у вигляді, зображеному на рис.2.9.

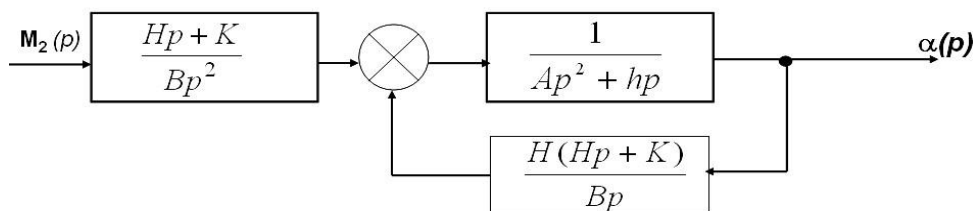


Рис. 2.9. Перетворена структурна схема ГС (при  $M_1=0$ )

Передаточна функція буде рівною:

$$W_{\alpha, M_2}(p) = \frac{Hp + K}{Bp^2} W_{\alpha, M_1}(p) = \frac{Hp + K}{p(ABp^3 + Bhp^2 + H^2p + HK)} \quad (2.12)$$

На рисунку 2.10 показана перетворена структурна схема для визначення передаточної функції  $W_{\beta_1 M_1}(p)$ .



Рис. 2.10.. Перетворена структурна схема ( $M_2=0$ )

Відповідно до рисунку 2.10 отримаємо:

$$W_{\beta, M_1}(p) = \frac{H}{Bp} W_{\alpha, M_1}(p) = \frac{H}{(ABp^3 + Bhp^2 + H^2 p + HK)}. \quad (2.13)$$

З передаточних функцій (2.11) і (2.12) випливає, що при дії постійного збурюючого моменту  $M_1$ , статична помилка по координаті  $\alpha$  буде відсутньою, тобто  $\alpha_{ст} = 0$ , а кут повороту гіровузла можна визначити за виразом:

$$\beta_{ст} = \frac{M_1}{K}. \quad (2.14)$$

При постійному або дуже повільно змінюваному збурюючому моменті  $M_2$  з передаточної функції (2.13) маємо:

$$\dot{\alpha} = \frac{M_2}{H} = \omega_{др}. \quad (2.15)$$

З виразу (2.15) можна зробити висновки, що при дії збурюючого моменту по вісі прецесії гіроскопічний стабілізатор обертається навколо вісі стабілізації з кутовою швидкістю, званою кутовою швидкістю дрейфу [7].

### Стійкість одновісного силового гіростабілізатора

При проектуванні ГС необхідно забезпечити його стійкість і необхідну якість стабілізації. Для того, щоб умови стійкості виконувалися, необхідно знати характеристичне рівняння ГС. Його легко отримати, знаючи вираз передаточної функції замкнутої системи ГС [7].

Для знаходження характеристичного рівняння потрібно прирівняти нулю знаменник передаточної функції замкнутої системи. Відповідно до (2.11), (2.12) або (2.13), а також беручи до уваги, що при складанні передаточних функцій (2.11) і (2.13) чисельник і знаменник їх було скорочено на оператор  $p$ , отримаємо характеристичне рівняння замкнутої системи ГС у вигляді:

$$(a_0 \lambda^3 + a_1 \lambda^2 + a_2 \lambda + a_3) \lambda = 0, \quad (2.16)$$

де  $a_0 = AB$ ,  $a_1 = Bh$ ,  $a_2 = H^2$ ,  $a_3 = HK$ .

З рівняння (2.16) випливає, що один з коренів цього рівняння  $p = 0$ . Це означає, що положення рівноваги платформи стабілізатора є довільним, тобто платформа утримує будь-яке задане початкове значення кута стабілізації [8]. Для

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

аналізу стійкості положення рівноваги можна скористатися характеристичним рівнянням :

$$a_0\lambda^3 + a_1\lambda^2 + a_2\lambda + a_3 = 0,$$

Щоб визначити співвідношення між основними параметрами, при якому ГС стійкий, скористаємося критерієм Гурвіца:

$$a_i > 0;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1a_2 - a_0a_3 > 0.$$

Додатність коефіцієнтів  $a_0, a_1, a_2$  характеристичного рівняння завжди виконується.Dodatність коефіцієнта  $a_3 = HK$  виконується при правильному підключенні ланцюга стабілізації. Підставляючи в умову  $\Delta_2 > 0$  коефіцієнти  $a_i$ , отримаємо  $hH - AK > 0$ , звідки :

$$h > \frac{AK}{H}. \tag{2.17}$$

Дана умова була отримана В.І. Кузнецовим в 1943р. З цієї умови випливає, що стійкість ГС може бути забезпечена за рахунок збільшення лівої частини, тобто демпфування по вісі стабілізації або за рахунок збільшення знаменника у правій частині [8].

Збільшення демпфування по вісі стабілізації може бути здійснено за допомогою встановлення демпфуючого пристрою або тахогенератора по вісі стабілізації. Сигнал з тахогенератора після відповідного посилення подається на двигун стабілізації.

Рівняння руху одновісного силового ГС з демпфером по вісі стабілізації мають вигляд:

$$A\ddot{\alpha} + (h + h_d)\dot{\alpha} + H\dot{\beta} + K\beta = M_1;$$

$$B\ddot{\beta} - H\dot{\alpha} = M_2, \tag{2.18}$$

де  $h_d$  – коефіцієнт демпфування демпфера.

Умова стійкості в цьому випадку буде:

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$h_0 + h > \frac{AK}{H}$$

Кінематична схема ГС з тахогенератором по вісі стабілізації представлена на рисунку 2.11.

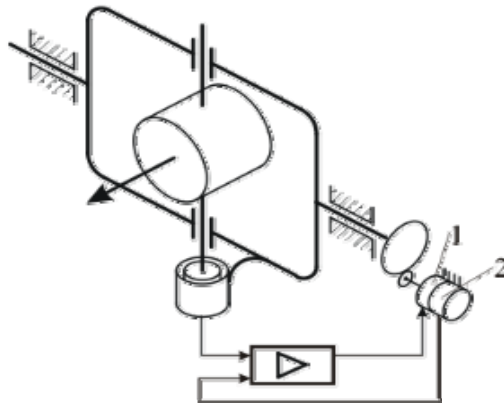


Рис. 2.11. Кінематична схема ГС з тахогенератором

Сигнал з тахогенератора 2, який конструктивно може бути виготовлений разом з двигуном стабілізації (двигун-генератор), після посилення надходить на двигун стабілізації 1.

Рівняння руху ГС запишемо :

$$\begin{aligned} A\ddot{\alpha} + h\dot{\alpha} + i_{ТГ}k_{ТГ}k_{y1} \cdot k_{dc}i\dot{\alpha} + H\dot{\beta} + K\beta &= M_1; \\ B\ddot{\beta} - H\dot{\alpha} &= M_2, \end{aligned} \quad (2.19)$$

де  $i_{ТГ}$ ,  $k_{ТГ}$ ,  $k_{y1}$  – передаточне число редуктора, що з'єднує вісь стабілізації з тахогенератором; коефіцієнт передачі тахогенератора і коефіцієнт посилення підсилювача відповідно. Система рівнянь записана без урахування динамічних характеристик тахогенератора і підсилювача [8]. Умова стійкості гіростабілізатора з тахогенератором по осі стабілізації має вигляд:

$$h + h_1 > \frac{AK}{H}, \quad (2.20)$$

де  $h_1 = i_{ТГ}k_{ТГ}k_{y1}k_{dc}i$  – коефіцієнт передачі тахометричного ланцюга.

Одним з основним недоліків цих способів забезпечення стійкості ГС є значне збільшення збурюючих моментів по вісі стабілізації при кутових коливаннях об'єкту навколо вісі стабілізації і, внаслідок цього, збільшення моменту двигуна

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

стабілізації для придушення цих збурень. Щоб зменшити збурюючі моменти в схемі ГС з тахогенератором на об'єкті можна встановити датчик кутової швидкості (ДКШ) (рис. 2.12). Сигнал ДКШ, після відповідного посилення, подається на двигун стабілізації.

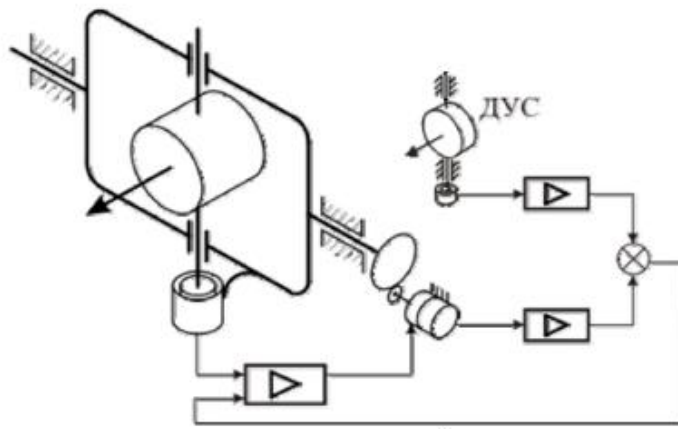


Рис. 2.12. Кінематична схема одновісного ГС з компенсацією впливу кутового руху навколо вісі стабілізації

Можна побудувати ГС на основі інтеграції в канал управління сигналу з датчика кутової швидкості, який буде встановлюватися на стабілізованій платформі (рис. 2.13).

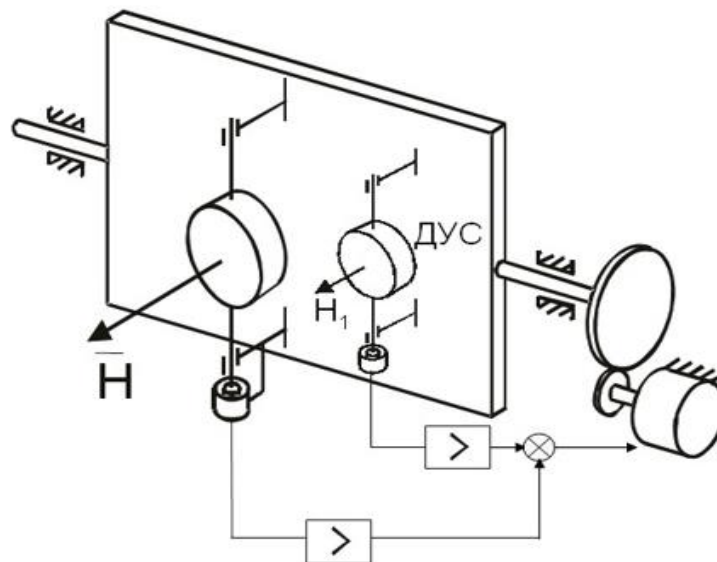


Рис. 2.13. Одновісний гіростабілізатор, демпфований сигналом с датчика кутової швидкості

Рівняння руху ГС в цьому випадку мають вигляд:

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

$$\begin{aligned}
 A\ddot{\alpha} + h\dot{\alpha} + H\dot{\beta} + K\beta + K_1\beta_1 &= M_1; \\
 B\ddot{\beta} - H\dot{\alpha} &= M_2; \\
 B_1\ddot{\beta}_1 + K_\delta\dot{\beta}_1 + K_n\dot{\beta}_1 - H_1\dot{\alpha} &= M_3,
 \end{aligned}
 \tag{2.21}$$

де  $H_1$  – кінетичний момент гіроскопа ДКШ;  $K_1$ – коефіцієнт посилення ланцюга демпфування;  $\beta_1$  – кут повороту гіровузла ДКШ;  $B_1$  – момент інерції гіровузла ДКШ;  $K_\delta$  – коефіцієнт демпфування по осі гіроузла ДКШ;  $K_n$  – коефіцієнт жорсткості пружини;  $M_3$  – збурюючий момент по осі гіровузла ДКШ [7].

Перепишемо систему рівнянь (2.21) в операторній формі:

$$\begin{aligned}
 (Ap^2 + hp)\alpha(p) + (Hp + K)\beta(p) + (H_1p + K_1)\beta_1(p) &= M_1(p); \\
 Bp^2\beta(p) - Hp\alpha(p) &= M_2(p); \\
 (B_1p^2 + K_\delta p + K_n)\beta_1(p) - H_1p\alpha(p) &= M_3(p).
 \end{aligned}
 \tag{2.22}$$

Структурна схема гіростабілізатора представлена на малюнку 2.14.

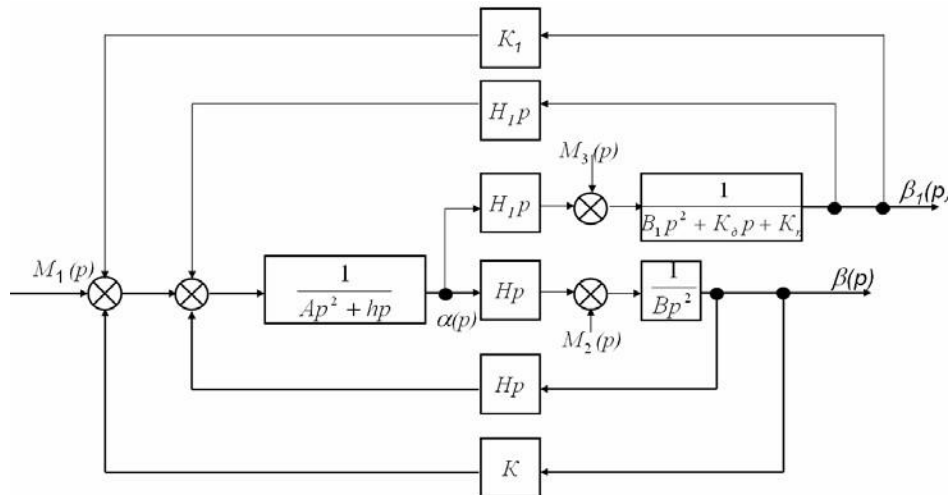


Рис. 2.14. Структурна схема гіростабілізатора, демпфованого сигналом с датчика кутової швидкості

Щоб отримати передаточні функції ГС скористаємося методом Крамера. Головний визначник системи (2.22) буде мати вигляд:

$$\begin{aligned}
 \Delta = \begin{vmatrix} Ap^2 + hp & Hp + K & H_1p + K_1 \\ -Hp & Bp^2 & 0 \\ 0 & 0 & B_1p^2 + K_\delta + K_n \end{vmatrix} &= p[ABB_1p^5 + (BB_1h + ABK_\delta)p^4 + \\
 + (H^2B_1 + BhK_\delta + ABK_n)p^3 + (HKK_1 + H_1K_1B + H^2K_\delta + BhK_n)p^2 + \\
 + (HKK_\delta + H^2K_n)p + HKK_n].
 \end{aligned}
 \tag{2.23}$$

Визначники заміщення  $\Delta_\alpha$ ,  $\Delta_\beta$ ,  $\Delta_{\beta 1}$ , що отримуються шляхом заміни відповідного стовпчика колонкою правих частин рівнянь (2.22), будуть:

$$\begin{aligned} \Delta_\alpha &= \begin{vmatrix} M_1 & Hp + K & H_1p + K_1 \\ M_2 & Bp^2 & 0 \\ M_3 & 0 & B_1p^2 + K_\delta + K_n \end{vmatrix} = M_1Bp^2(B_1p^2 + K_\delta p + K_n) - \\ &- M_2(Hp + K)(B_1p^2 + K_\delta p + K_n) - M_3Bp^2(H_1p + K_1); \\ \Delta_\beta &= \begin{vmatrix} Ap^2 + hp & M_1 & H_1p + K_1 \\ -Hp & M_2 & 0 \\ -H_1p & M_3 & B_1p^2 + K_\delta + K_n \end{vmatrix} = M_1Hp(B_1p^2 + K_\delta p + K_n) - \\ &- M_2[(Ap^2 + hp)(B_1p^2 + K_\delta p + K_n) + H_1p(H_1p + K_1)] - M_3Hp(H_1p + K_1); \\ \Delta_{\beta 1} &= \begin{vmatrix} Ap^2 + hp & Hp + K & M_1 \\ -Hp & Bp^2 & M_2 \\ -H_1p & 0 & M_3 \end{vmatrix} = M_1H_1pBp^2 - M_2H_1p(Hp + K) + \\ &+ M_3[Bp^2(Ap^2 + hp) + Hp(Hp + K)]. \end{aligned} \quad (2.24)$$

Використовуючи отримані вирази для  $\Delta$ ,  $\Delta_\alpha$ ,  $\Delta_\beta$ ,  $\Delta_{\beta 1}$ , передаточні функції будуть виглядати так:

$$\begin{aligned} W_{\alpha, M_1}(p) &= \frac{Bp(B_1p^2 + K_\delta p + K_n)}{\Delta_1}; \\ W_{\alpha, M_2}(p) &= -\frac{(Hp + K)(B_1p^2 + K_\delta p + K_n)}{p\Delta_1}; \\ W_{\alpha, M_3}(p) &= -\frac{Bp(H_1p + K)}{\Delta_1}; \\ W_{\beta, M_1}(p) &= \frac{H(B_1p^2 + K_\delta p + K_n)}{\Delta_1}; \\ W_{\beta 1, M_1}(p) &= \frac{H_1Bp^2}{\Delta_1}. \end{aligned} \quad (2.25)$$

де

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= a_0p^5 + a_1p^4 + a_2p^3 + a_3p^2 + a_4p + a_5; \\ a_0 &= AB B_1; \\ a_1 &= BB_1h + ABK_y; \\ a_2 &= HB_1 + BhK_\delta + ABK_n; \\ a_3 &= HKK_1 + H_1K_1B + H^2K_\delta + BhK_n; \\ a_4 &= HKK_\delta + H^2K_n; \\ a_5 &= HKK_n. \end{aligned}$$

					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



З передаточних функцій (2.25) можна зробити висновок, що під дією постійного збурюючого моменту  $M_1$  по вісі стабілізації статистична помилка по куту  $\alpha$  - відсутня, відхилення по координаті  $\beta$  дорівнює  $\beta_{cm} = \frac{M_1}{k}$  і відхилення по координаті  $\beta_1$  також відсутнє [9]. Збурюючий момент  $M_2$  по вісі прецесії викликає рух ГС а зі швидкістю, яку можна розрахувати за формулою:

$$\omega_{\text{оп}} = \frac{M_2}{H}. \quad (2.26)$$

Постійний збурюючий момент  $M_3$  по вісі підвісу ДКШ не викликає відхилень по вісі стабілізації. З умови (2.18) випливає, що стійкість ГС може бути забезпечена за рахунок збільшення знаменника правої частини. Повернемося до системи рівнянь руху ГС (2.7). Для визначення впливу на умову стійкості гіроскопічних моментів  $H\dot{\alpha}$ ,  $H\dot{\beta}$ , відмітимо кінетичний момент у гіроскопічного моменту  $H\dot{\beta}$  зірочкою:

$$\begin{aligned} A\ddot{\alpha} + h\dot{\alpha} + H^*\dot{\beta} + K\beta &= M_1; \\ B\ddot{\beta} - H\dot{\alpha} &= M_2. \end{aligned}$$

Звідки умова стійкості матиме вигляд:

$$h > \frac{AK}{H^*}. \quad (2.27)$$

З умови (2.27) можна зробити висновок, що стійкість ГС залежить від гіроскопічного моменту  $H\dot{\beta}$  і, отже, збільшення знаменника умови (2.18) може бути реалізовано за рахунок введення моменту по осі стабілізації пропорційного  $\dot{\beta}$ . Реалізація даного способу представлена на кінематичній схемі (рис. 2.15). Сигнал з тахогенератора (ТГ), встановленого по осі прецесії, після відповідного посилення подається на двигун стабілізації. Такий ГС названий гіростабілізатором на "малому" гіроскопі [7].

Рівняння руху ГС мають вигляд:

$$\begin{aligned} A\ddot{\alpha} + h\dot{\alpha} + H\dot{\beta} + K\beta + K_1\dot{\beta} &= M_1; \\ B\ddot{\beta} - H\dot{\alpha} &= M_2. \end{aligned} \quad (2.28)$$

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $K_1$  – передаточний коефіцієнт тахогенератора і коефіцієнт посилення підсилювача відповідно.

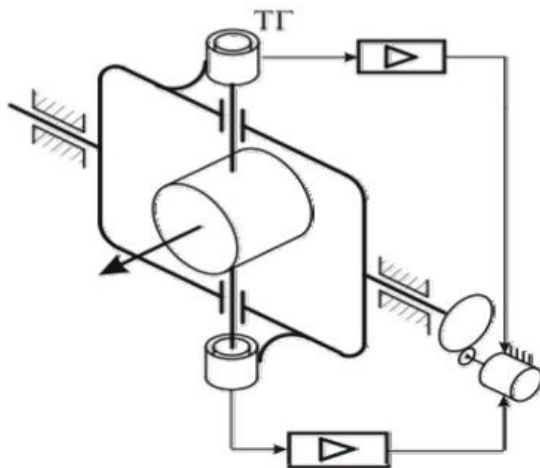


Рис. 2.15. Кінематична схема ГС на «малому» гіроскопі

Структурна схема ГС представлена на рис.2.16, де позначено  $K_1$ – коефіцієнт посилення тахометричного ланцюга.

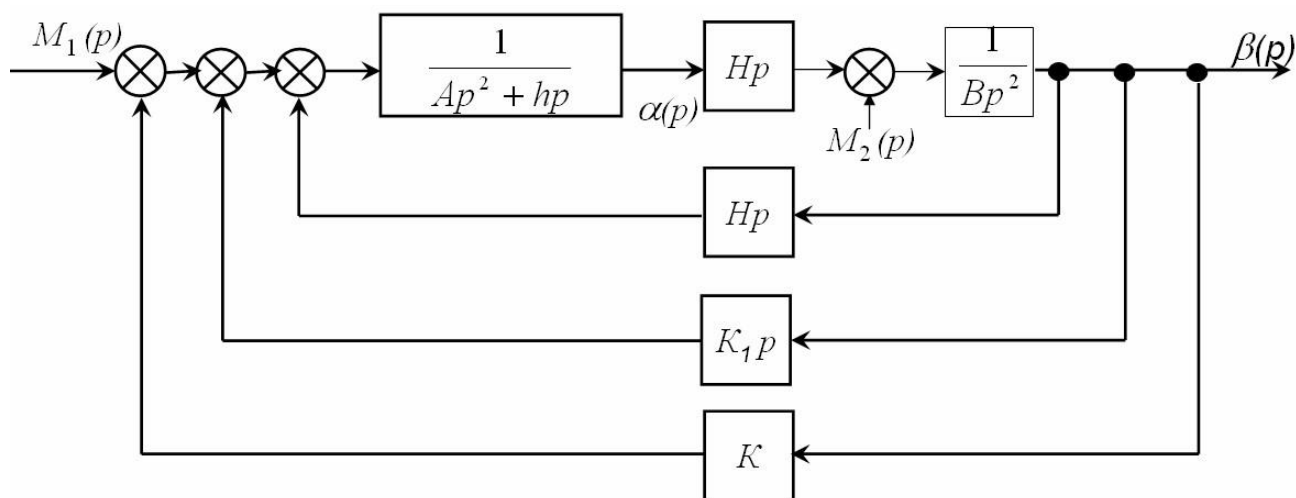


Рис. 2.16. Структурна схема гіростабілізатора на «малому» гіроскопі

Умова стійкості ГС з тахогенератором по осі прецесії має вигляд:

$$h > \frac{AK}{H + K_1}. \quad (2.29)$$

При такому застосуванні подібного закону управління, можна забезпечити стійкість ГС. Це еквівалентно введенню деякого додаткового "фіктивного" кінетичного моменту.

Як видно з умови (2.17), для того щоб ГС був стійкий, коефіцієнт не повинен перевищувати деякого критичного значення. Окрім того, для забезпечення прийнятних динамічних властивостей ГС, наприклад, досить швидкого загасання власних коливань, необхідно забезпечити певні запаси стійкості, що накладає обмеження на величину  $K$ . У той же час, щоб підвищити точність стабілізації, цю величину необхідно збільшувати. Це протиріччя дозволяють звичайним для систем автоматичного керування способом: обирають  $K$  виходячи з необхідної точності стабілізації, а стійкість ГС забезпечують шляхом введення в ланцюг стабілізації відповідних коригувальних контурів. Тип і параметри коригувальних контурів залежать від параметрів механічної частини ГС, від вимог до точності і динамічних характеристик [8].

При виборі виду і параметрів коригувального контуру зазвичай застосовують логарифмічні частотні характеристики. В якості критерію стійкості при цьому використовується частотний критерій (критерій Найквіста), що дозволяє за характеристиками розімкнутої системи судити про її стійкість в замкнутому стані. Відповідно до структурної схеми (рис. 2.7), структурну схему для розімкнутого ланцюга стабілізації ГС представимо у вигляді:

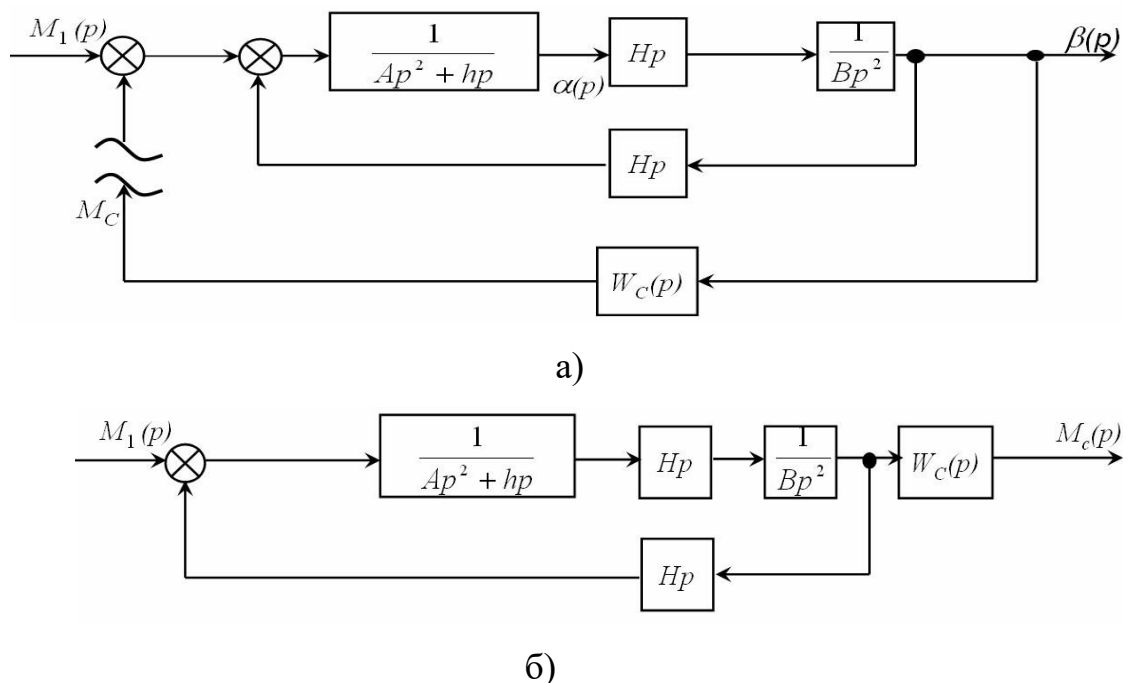


Рис. 2.17. Структурна схема розімкнутого гіростабілізатора

Передаточна функція розімкнутого ГС буде:

					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$W_p(p) = \frac{1}{Hp \left( \frac{AB}{H^2} p^2 + \frac{Bh}{H^2} p + 1 \right)} W_c(p), \quad (2.30)$$

де  $W_c(p)$  – передаточна функція ланцюга стабілізації і дорівнює:

$$W_c(p) = \frac{K}{(T_\delta p + 1)(T_{\delta\epsilon} p + 1)} W_{\kappa\kappa}(p), \quad (2.31)$$

де  $W_{\kappa\kappa}(p)$  – передаточна функція коригувального контуру, вид і параметри якого необхідно визначити. Введемо позначення:

$$\frac{Bh}{H^2} = 2T\xi; \quad \nu^2 = \frac{1}{T^2} = \frac{H^2}{AB},$$

де  $\nu$  – частота нутаційних коливань розімкненого ГС,  $\xi$  – відносний коефіцієнт демпфування, тоді передаточна функція (1.16) буде:

$$W_p(p) = \frac{K}{Hp(T^2 p^2 + 2T\xi p + 1)(T_\gamma p + 1)(T_{\delta\epsilon} p + 1)}. \quad (2.32)$$

Відносний коефіцієнт демпфування, що дорівнює

$$\xi = \frac{h}{2H} \sqrt{\frac{B}{A}} \quad (2.33)$$

в силовому ГС, як правило, менше 0.01, так як зазвичай  $h \ll H$  і  $B \ll A$ . При відсутності коригуючого контуру і безінерційної ланки стабілізації ( $W_c(p) = K$ ) амплітудно-частотна ( $L$ ) і фазо-частотна ( $\phi$ ) характеристики розімкненого ГС мають вигляд, що представлений на рисунку 2.18 (а). Згідно з критерієм стійкості ГС нестійкий (див. рис.2.18, а).

Як коригувальний контур в ГС, що має частотну характеристику, представлену на рис.2.18 (а), використовується немінімально-фазова ланка типу фазообертача:

$$W_{\kappa\kappa}(p) = \frac{1 - T_k p}{1 + T_k p} \quad (2.34)$$

або аперіодичні ланки

$$W_{\kappa\kappa}(p) = \frac{1}{(1 + T_k p)^2}. \quad (2.35)$$

					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зазначені коригувальні ланки реалізуються або пасивними схемами, або із застосуванням операційних підсилювачів. Характеристика розімкнутої системи, з урахуванням корекції, має вигляд, представлений на рисунку 2.18, б) - для немінімально-фазового ланки і на рисунку 2.19, б) - для апериодических ланок.

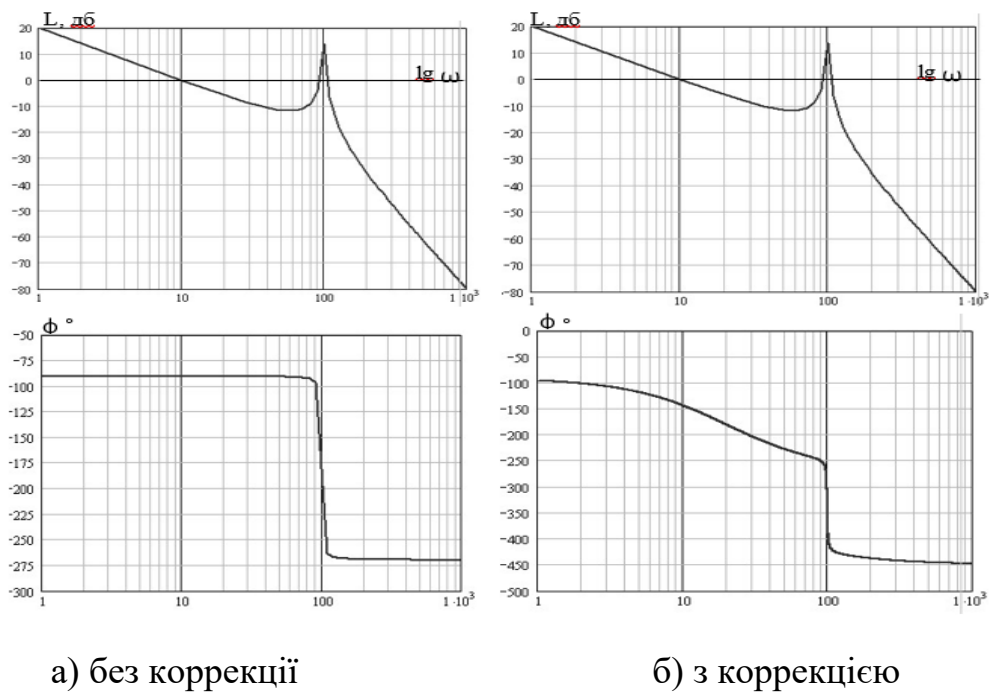


Рис. 2.20. Частотні характеристики силового гіростабілізатора при корекції немінімально-фазовою ланкою

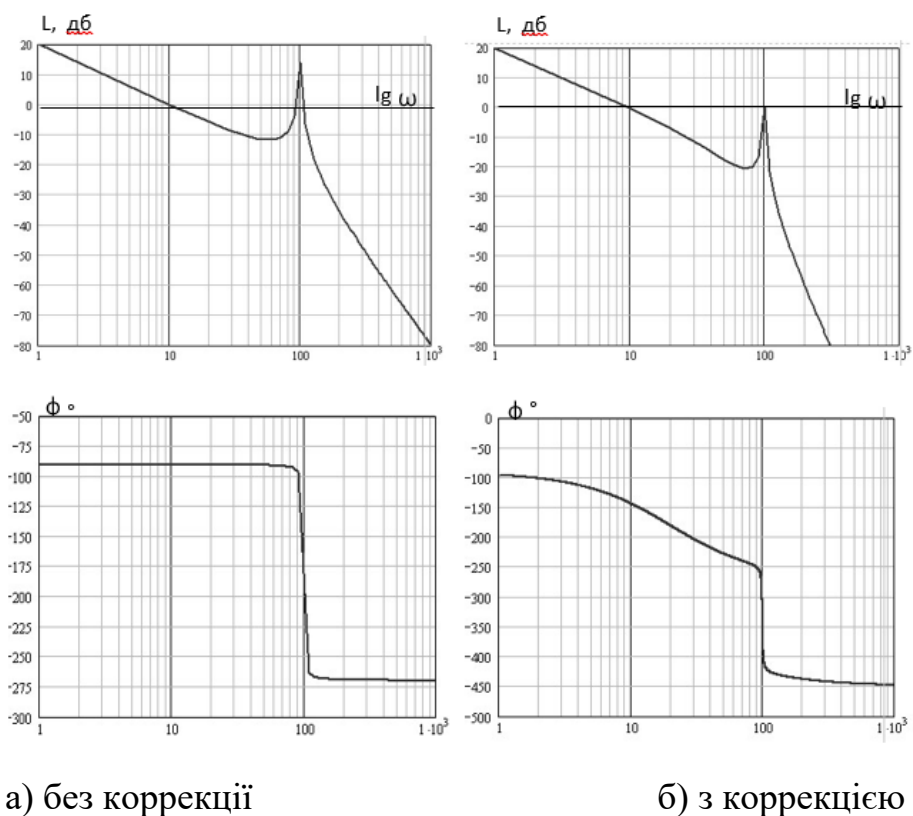


Рис. 2.21. Частотні характеристики

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

силового гіростабілізатора при корекції апаріодичними ланками

Для визначення умови стійкості ГС з немінімально-фазовим коригуючим контуром підставимо в характеристичне рівняння (2.16) вираз

$$\frac{K(1-T_k p)}{1+T_k p}$$

Тоді характеристичне рівняння буде мати вигляд:

$$ABT_k \lambda^4 + (AB + BhT_k) \lambda^3 + (Bh + H^2 T_k) \lambda^2 + (H^2 - HKT_k) \lambda + HK = 0. \quad (2.36)$$

Беручи до уваги, що

$$A \gg hT_k, H^2 T_k \gg Bh,$$

характеристичне рівняння (2.24) запишемо:

$$b_0 \lambda^4 + b_1 \lambda^3 + b_2 \lambda^2 + b_3 \lambda + b_4 = 0,$$

де

$$b_0 = ABT_k;$$

$$b_1 = AB;$$

$$b_2 = H^2 T_k;$$

$$b_3 = H^2 - HKT_k;$$

$$b_4 = HK.$$

З умови  $a_3 > 0$  маємо умову стійкості:

$$T_k < \frac{H}{K}. \quad (2.37)$$

З умови

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} = a_1 a_2 a_3 - a_0 a_3^2 - a_1^2 a_4 > 0$$

маємо

$$-HKT_k^3 + H^2 T_k^2 + AB > 0. \quad (2.38)$$

Вважаючи ліву частину нерівності (2.38) функцією постійної часу коригуючого контуру  $T_k$  і прирівнюючи її нулю, отримаємо

$$f(T_k) = 0, \quad (2.39)$$

яка графічно зображена на малюнку 2.22.

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

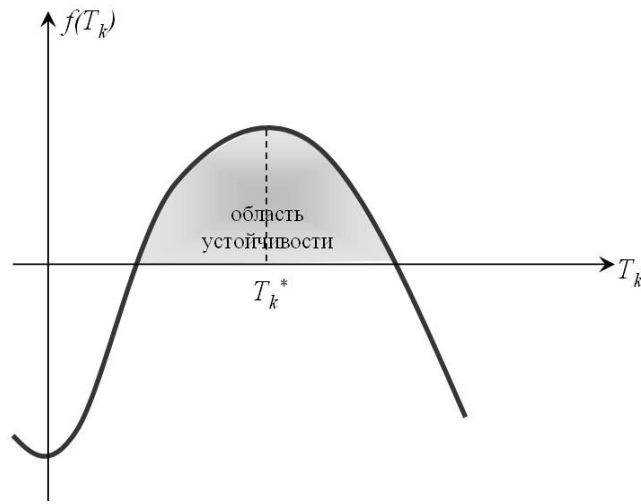


Рис. 2.22. Залежність функції  $f(T_k)$

Користуючись рівністю (2.39), визначимо величину постійної часу  $T_k$ , відповідну максимальному запасу стійкості системи. Диференціюючи (2.39) по параметру  $T_k$  і прирівнюючи отриманий вираз нулю, отримаємо:

$$2H^2T_k - 3HKK_{\Sigma}^2 = 0.$$

З останнього рівняння маємо:

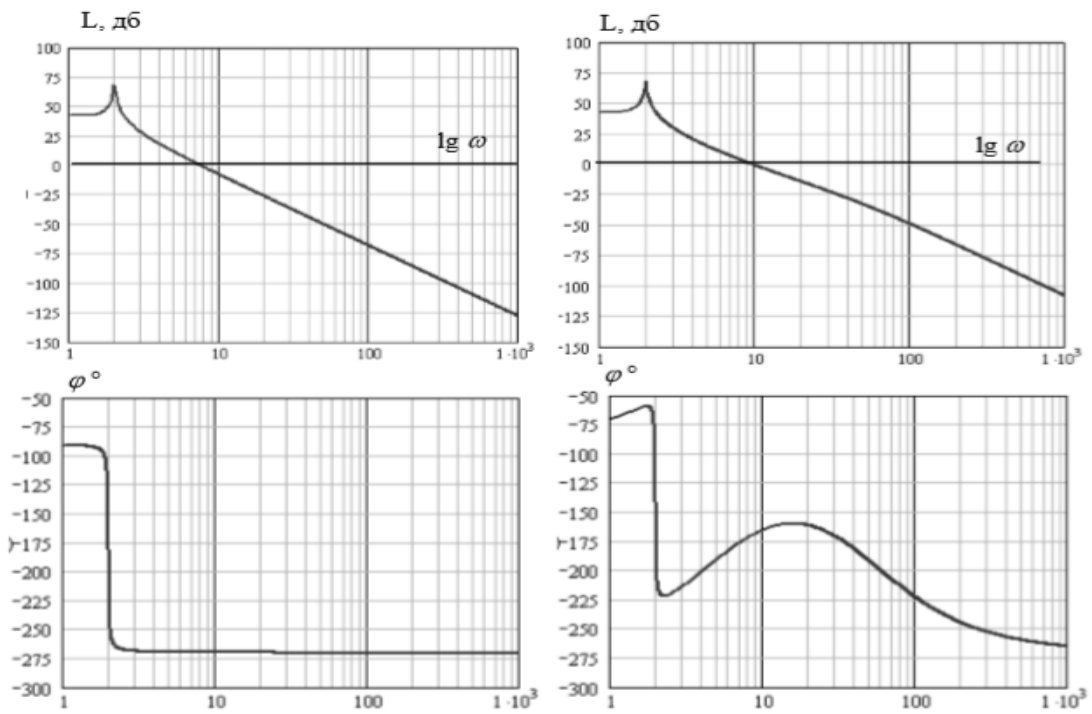
$$T_k^* = \frac{2H}{3K}, \quad (2.40)$$

де  $T_k^*$  - значення постійної часу немінімально-фазового коригуючого контуру, яке відповідає максимальному запасу стійкості системи [9].

При збільшенні відношення  $\frac{H}{K}$ , а також зі збільшенням моменту інерції ГС, частотні характеристики мають вигляд (рис. 2.23). В цьому випадку в ланцюг стабілізації необхідно включити коригувальний контур з передаточною функцією (2.41).

$$W_{\Sigma\Sigma}(p) = \frac{T_1 p^2 + 2\xi_1 T_1 p + 1}{T_2^2 p^2 + 2\xi_2 T_2 p + 1}. \quad (2.41)$$

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



а) без корекції

б) з корекцією

Рис. 2.23. Частотні характеристики силового ГС при коригувальній ланці (2.41)

### 2.1.2. Одновісний індикаторно-силовий гіростабілізатор

Чутливими елементами індикаторно-силового ГС можуть бути інтегруючий гіроскоп або датчик кутової швидкості.

#### Принцип дії гіростабілізатора, побудованого на інтегруючому гіроскопі

Інтегруючий гіроскоп вимірює малі кути повороту підставки. Це означає, що кут прецесії гіроскопа буде пропорційний куту повороту платформи навколо вісі стабілізації. Нехай до ГС (рис. 2.24) буде прикладений постійний момент  $M_1$ , під дією якого платформа починає повертатися навколо вісі стабілізації, відхиляючись від займаного спочатку положення на кут  $\alpha$ . При цьому інтегруючий гіроскоп повернеться за цей час навколо осі прецесії на кут  $\beta = k\alpha$  ( $k$  – коефіцієнт передачі інтегруючого гіроскопа) [9].



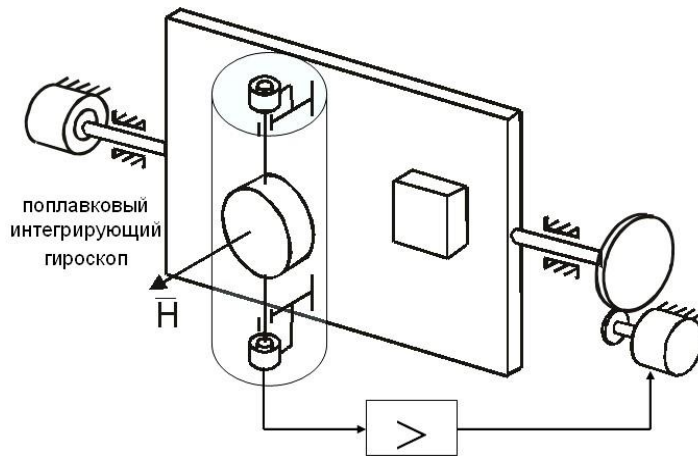


Рис. 2.24. Кінематична схема  
одновісного індикаторно-силового гіростабілізатора

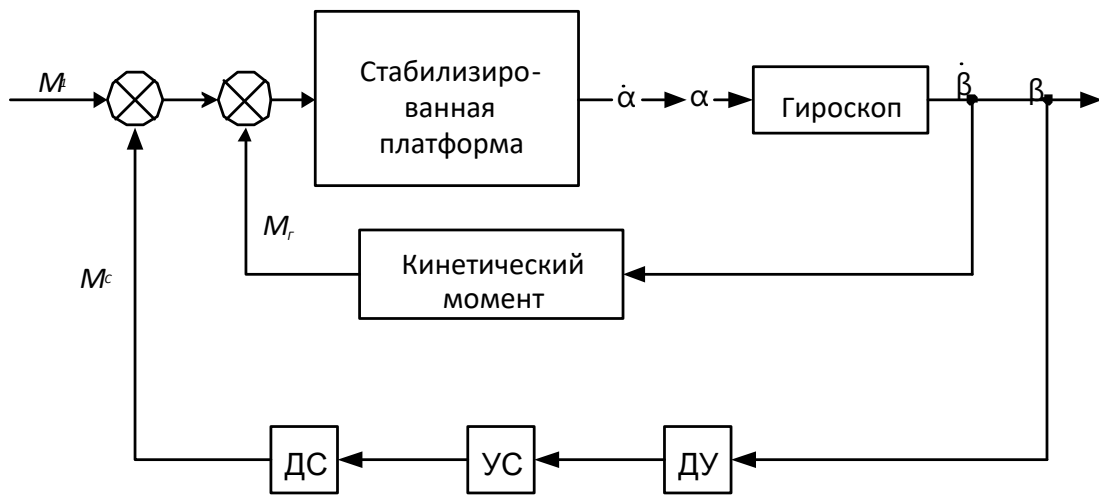


Рис. 2.25. Структурная схема гіростабілізатора,  
побудованого на базі інтегуючого гіроскопа

З датчика кута прецесії гіроскопа буде поданий сигнал на двигун, який прикладе до вісі стабілізації момент  $M_C = K\dot{\beta} = Kk\dot{\alpha}$ , протилежний збурючому. При подібному розгляді принципу стабілізації гіроскоп, встановлений на платформі, лише "відчуває" поворот платформи, виробляє сигнал про відхилення від необхідного положення, не беручи безпосередньої силового участі в її стабілізації [9].

Але при більш точному розгляді необхідно мати на увазі, що при повороту гіроскопу навколо вісі прецесії зі швидкістю  $\dot{\beta}$ , на платформу по вісі стабілізації буде діяти гіроскопічний момент  $M_{\Gamma\eta} = H\dot{\beta}$  так само, як і в силовому. Але так як величина  $H$  в даному випадку порівняно невелика, а швидкість  $\dot{\beta}$  значно менша за

її значення в силовому гіростабілізаторі, цей гіроскопічний момент не досягає помітної величини. Навіть більше того, в поплавкових гіроскопах величину  $M_{Г\eta}$  потрібно навмисно обмежувати, щоб не було навантаження на цапфи і опори підвісу поплавка. Для цього необхідно вибирати параметри ланцюга стабілізації, щоб вже при малих  $\beta$ , двигун стабілізації розвивав необхідний для стабілізації платформи момент  $M_c$  [10].

У зв'язку з тим, що силовий вплив з боку гіроскопа на платформу все-таки є, хоча і ледь помітний, (відмінність з силовим гіростабілізатором чисто кількісне, а не якісне), гіростабілізатори, побудовані на інтегруючому гіроскопі, називають індикаторно-силовими.

### Рівняння руху, структурні схеми та передаточні функції індикаторно-силового гіростабілізатора

Рівняння руху одновісного ГС, побудованого на інтегруючому гіроскопі має вигляд:

$$\begin{aligned} A\ddot{\alpha} + h\dot{\alpha} + H\dot{\beta} + M_c &= M_1; \\ B\ddot{\beta} + K_d\dot{\beta} - H\dot{\alpha} &= M_2; \\ M_c &= K\beta, \end{aligned} \quad (2.42)$$

де  $K_d$  – коефіцієнт демпфування щодо осі прецесії. Застосовуючи до рівнянь (2.42) перетворення по Лапласу, отримаємо:

$$\begin{aligned} (Ap^2 + hp)\alpha(p) + (Hp + K)\beta(p) &= M_1(p); \\ (Bp^2 + K_d p)\beta(p) - Hp\alpha(p) &= M_2(p). \end{aligned} \quad (2.43)$$

У відповідності до системи (2.43) структурна схема ГС має вигляд (рис. 2.26):

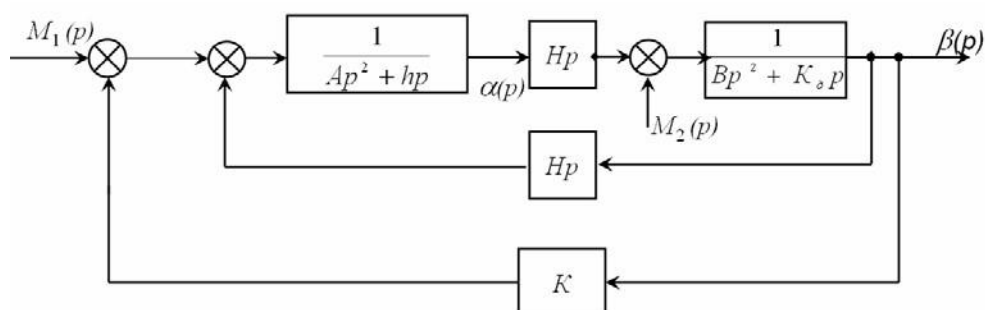


Рис. 2.26. Структурна схема індикаторно-силового ГС

Відповідно до структурної схеми (рис. 2.26) можна отримати наступні передаточні функції:

					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$W_{\alpha, M_1}(p) = \frac{Bp + K_\delta}{ABp^3 + (Bh + AK_\delta)p^2 + (H^2 + hK_\delta)p + HK}; \quad (2.44)$$

$$W_{\alpha, M_2}(p) = -\frac{Hp + K}{p[ABp^3 + (Bh + AK_\delta)p^2 + (H^2 + hK_\delta)p + HK]}; \quad (2.45)$$

$$W_{\beta, M_1}(p) = \frac{H}{ABp^3 + (Bh + AK_\delta)p^2 + (H^2 + hK_\delta)p + HK}. \quad (2.46)$$

З передаточних функцій (2.45) і (2.46) випливає, що при постійному збурюючому моменті  $M_1$ , статична помилка по координаті  $\alpha$  визначається з виразу:

$$\alpha_{cm} = \frac{M_1 K_\delta}{KH} = \frac{M_1}{Kk}, \quad (2.47)$$

а кут повороту гіровузла буде :

$$\beta_{cm} = \frac{M_1}{K}. \quad (2.48)$$

З передаточної функції (2.33) можемо отримати вираз для кутової швидкості дрейфу ГС:

$$\omega_{op} = \frac{M_2}{H}. \quad (2.49)$$

### 2.1.3. Одновісний гіростабілізатор , побудований на датчику кутової швидкості

У якості чутливого елемента ГС може бути використаний гіроскопічний датчик кутової швидкості (рис. 2.27). Рівняння руху ГС мають вигляд:

$$\begin{aligned} A\ddot{\alpha} + h\dot{\alpha} + H\dot{\beta} + K\beta &= M_1; \\ B\ddot{\beta} + K_\delta\dot{\beta} + K_n\beta - H\dot{\alpha} &= M_2, \end{aligned} \quad (2.50)$$

де  $K_n$  – коефіцієнт жорсткості пружини.

Застосовуючи до системи рівнянь (2.50) перетворення по Лапласу, отримаємо :

$$\begin{aligned} (Ap^2 + hp)\alpha(p) + (Hp + K)\beta(p) &= M_1(p); \\ (Bp^2 + K_\delta p + K_n)\beta(p) - Hp\alpha(p) &= M_2(p). \end{aligned} \quad (2.51)$$

					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

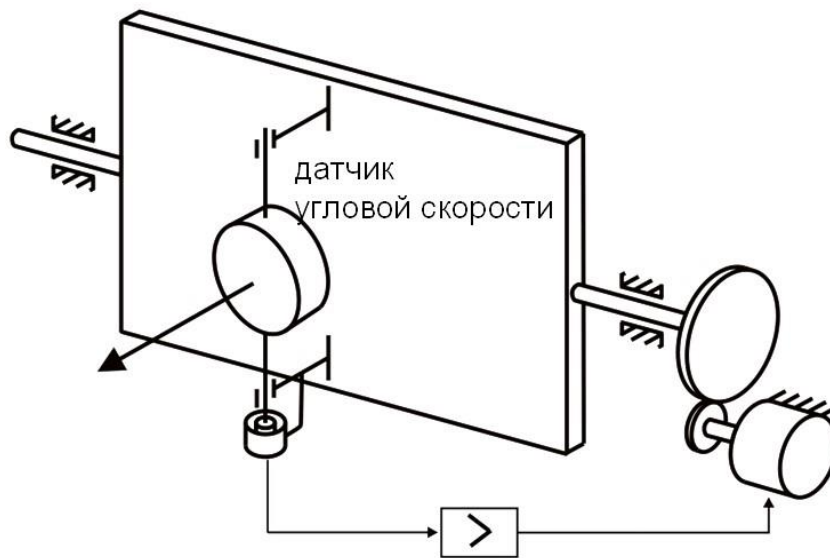


Рис. 2.27. Кінематична схема гіростабілізатора ,  
побудованого на базі ДКШ

Звідки структурна схема гіростабілізатора має вигляд :

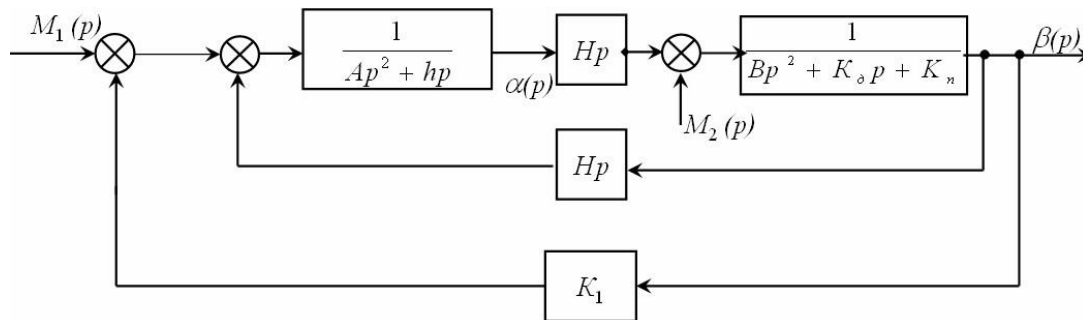


Рис. 2.28. Структурна схема гіростабілізатора,  
побудованого на базі датчика кутової швидкості

З структурної схеми(рис.2.28) отримаємо передаточні функції:

$$W_{\alpha, M_1}(p) = \frac{Bp^2 + K_0p + K_n}{p[ABp^3 + (Bh + AK_0)p^2 + (H^2 + hK_0 + AK_n)p + (HK_1 + hK_n)]}; \quad (2.52)$$

$$W_{\alpha, M_2}(p) = -\frac{Hp + K}{p[ABp^3 + (Bh + AK_0)p^2 + (H^2 + hK_0 + AK_n)p + (HK_1 + hK_n)]}; \quad (2.53)$$

$$W_{\beta, M_1}(p) = \frac{H}{ABp^3 + (Bh + AK_0)p^2 + (H^2 + hK_0 + AK_n)p + (HK_1 + hK_n)}. \quad (2.54)$$

З передаточних функцій (2.32) і (2.54) випливає, що при дії постійного моменту по вісі стабілізації , ГС обертається з кутовою швидкістю:

$$\dot{\alpha} = \frac{K_n M_1}{HK_1 + hK_n}, \quad (2.55)$$

А поворот гіровузла:

$$\beta_{cm} = \frac{HM_1}{HK_1 + hK_n}, \quad (2.56)$$

Тобто:

$$\dot{\alpha} = \frac{K_n \beta_{cm}}{H} = \frac{M_{np}}{H}, \quad (2.57)$$

де  $M_{np}$  – момент, що створюється пружиною ДКШ.

Кутова швидкість дрейфу, обумовлена моментом  $M_2$ , визначається з передавальної функції (2.53) і буде:

$$\omega_{dp} = \frac{M_2}{H}. \quad (2.58)$$

Щоб усунути обертання стабілізатора під дією моменту  $M_1$  в ланцюг стабілізації включається інтегруюча ланка [11]. Передаточна функція ланцюга стабілізації має вигляд:

$$W_c(p) = K_1 + \frac{K}{p} = \frac{K_1 p + K}{p}. \quad (2.59)$$

Підставивши в передаточні функції (2.52) ... (2.54) вираз (1.69), замість  $K_1$ , отримаємо:

$$W_{\beta, M_1}(p) = \frac{Hp}{p[ABp^4 + (Bh + AK_\delta)p^3 + (H^2 + hK_\delta + AK_n)p^2 + (HK_1 + hK_n)p + HK]}; \quad (2.60)$$

$$W_{\alpha, M_1}(p) = \frac{Bp^2 + K_\delta p + K_n}{ABp^4 + (Bh + AK_\delta)p^3 + (H^2 + hK_\delta + AK_n)p^2 + (HK_1 + hK_n)p + HK}; \quad (2.61)$$

$$W_{\alpha, M_2}(p) = -\frac{Hp^2 + K_1 p + K}{ABp^4 + (Bh + AK_\delta)p^3 + (H^2 + hK_\delta + AK_n)p^2 + (HK_1 + hK_n)p + HK}. \quad (2.62)$$

					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З передаточних функцій (2.60) і (2.61) випливає, що при дії постійного моменту по вісі стабілізації:

$$\alpha_{cm} = \frac{K_n M_1}{HK_1};$$

$$\beta_{cm} = 0. \quad (2.63)$$

Кутова швидкість дрейфу визначається з передаточної функції (2.62) і дорівнює:

$$\omega_{др} = \frac{M_2}{H} \quad (2.64)$$

Для визначення співвідношень між параметрами ГС, при яких він буде стійким, скористаємося характеристичним рівнянням:

$$a_0 \lambda^4 + a_1 \lambda^3 + a_2 \lambda^2 + a_3 \lambda + a_4 = 0, \quad (2.65)$$

де

$$a_0 = AB; a_1 = Bh + AK_\delta; a_2 = H^2 + hK_\delta + AK_n; a_3 = HK_1 + hK_n; a_4 = HK.$$

Поділивши усі коефіцієнти на АВ, отримаємо:

$$b_0 \lambda^4 + b_1 \lambda^3 + b_2 \lambda^2 + b_3 \lambda + b_4 = 0, \quad (2.66)$$

де

$$b_0 = 1; b_1 = \frac{h}{A} + 2d\omega_0; b_2 = \frac{H^2}{AB} + \frac{h}{A} 2h\omega_0 + \omega_0^2; b_3 = (K_1 \frac{\kappa}{A} + \frac{h}{A}) \omega_0^2; b_4 = K \frac{\kappa}{A} \omega_0^2, \omega_0 = \sqrt{\frac{K_n}{B}}$$

$$\kappa = \frac{H}{K_n}$$

$\omega_0$ - власна частота ДКШ;  $\kappa$  - коефіцієнт передачі ДКШ;  $d$  – відносний коефіцієнт демпфірування [10].

Застосовуючи критерій Гурвіца до характеристическому рівняння (2.66), отримаємо умови стійкості:

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} b_1 & b_3 & 0 \\ b_0 & b_2 & b_4 \\ 0 & b_1 & b_3 \end{vmatrix} = b_1 b_2 b_3 - b_1^2 b_4 - b_3^2 > 0.$$

Прирівнявши останню нерівність нулю, отримаємо:

$$b_3^2 - b_1 b_2 b_3 + b_1^2 b_4 = 0.$$

Звідки:

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$b_{3(1,2)} = \frac{b_1 b_2}{2} \left[ 1 \pm \frac{\sqrt{b_2^2 - 4b_4}}{b_2} \right].$$

При  $b_2^2 > 4b_4$ :

$$\frac{H^2}{AB} + \frac{h}{A} 2d\omega_0 + \omega_0^2 > 2\omega_0 \sqrt{K \frac{\kappa}{A}} \quad (2.67)$$

або з урахуванням реальних співвідношень параметрів

$$\omega_0 > 2 \sqrt{K \frac{\kappa}{A}}. \quad (2.68)$$

При виконанні останньої умови  $b^*_3 = \frac{b_1 b_2}{2}$ , де  $b^*_3$  – відповідає максимальному запасу стійкості, звідки  $(K k_1)^* = d\omega_0 A$ .

#### 2.1.4. Одновісний індикаторний гіростабілізатор

##### Принцип дії одновісного індикаторного гіростабілізатора

В якості чутливого елемента ГС використовується триступеневий астатичний гіроскоп або динамічно налаштовуваний гіроскоп. Властивість триступеневого гіроскопа зберігати заданий напрямок осі власного обертання в інерціальній просторі використовується для вимірювання кутових відхилень платформи від необхідного положення і формування стабілізуючого моменту [11]. Гіроблок встановлюється на платформі так, щоб одна з його вісей (зовнішня чи внутрішня) була паралельна вісі стабілізації. На рисунку 1.36 представлена схема ГС на випадок, коли вісь зовнішньої рамки гіроскопа паралельна вісі стабілізації [12].

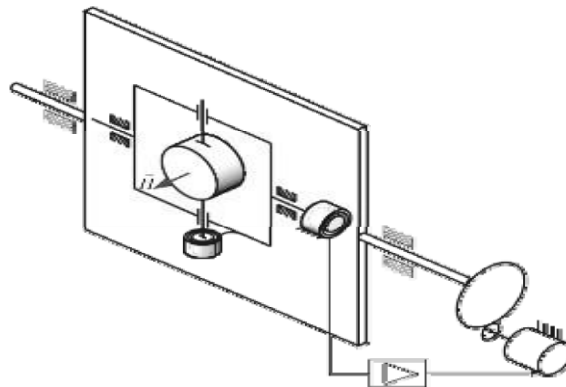


Рис. 2.29. Кінематична схема  
одновісного ГС

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

На вісі зовнішньої рамки гіроскопа встановлюється датчик кута, сигнал з якого через підсилювач стабілізації подається на стабілізуючий двигун. Крім системи стабілізації ГС має систему приведення, датчик моменту якої розташований на вісі внутрішньої рамки гіроскопа [13].

Платформа і гіроскоп займають початкове положення. При виникненні збурюючого моменту  $M_1$  по вісі стабілізації платформа повернеться на деякий кут  $\alpha$ . З датчика кутів гіроскопа зафіксується сигнал, пропорційний кутовому відхиленню. Після посилення сигнал надійде на двигун, який докладе до вісі стабілізації момент  $M_C = K\alpha$ , протилежний зовнішньому моменту. Очевидно, що при дії на платформу постійного зовнішнього моменту  $M_1$ , встановлюється деяке відхилення  $\alpha_{cm}$ , при якому стабілізуючий момент врівноважує зовнішній момент.  $M_C = K\alpha_{cm} = M_1$ , звідки

$$\alpha_{cm} = \frac{M_1}{K}. \quad (2.69)$$

Відхилення  $\alpha_{cm}$  є статистичною похибкою стабілізації. Порівнюючи вирази (2.35) і (2.51), видно, що для забезпечення однієї і тієї ж величини статичної похибки в індикаторному стабілізаторі необхідно мати істотно більший коефіцієнт посилення  $K$  ланцюга стабілізації.

Так як в процесі стабілізації гіроскоп не робить навіть короткочасного силового впливу на платформу, ГС цього типу є індикаторними.

### **Рівняння руху, структурна схема індикаторного гіростабілізатора**

Рівняння руху індикаторного ГС без урахування динамічних властивостей триступеневого гіроскопа мають вигляд:

$$\begin{aligned} A\ddot{\alpha} + h\dot{\alpha} - K\alpha_r &= M_1; \\ H(\dot{\alpha} + \dot{\alpha}_r) &= M_2, \end{aligned} \quad (2.70)$$

де  $\alpha_r$  – кут повороту гіроскопа навколо осі зовнішньої рамки щодо платформи;  $M_2$  – збурюючий момент навколо осі внутрішньої рамки гіроскопа.

Застосовуючи до рівнянь (2.52) перетворення Лапласа, отримаємо:

$$\begin{aligned} (Ap^2 + hp)\alpha(p) - K\alpha_r(p) &= M_1(p); \\ Hp\alpha(p) + Hp\alpha_r(p) &= M_2(p). \end{aligned} \quad (2.71)$$

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41



Згідно (2.53), структурна схема індикаторного ГС буде мати вигляд:

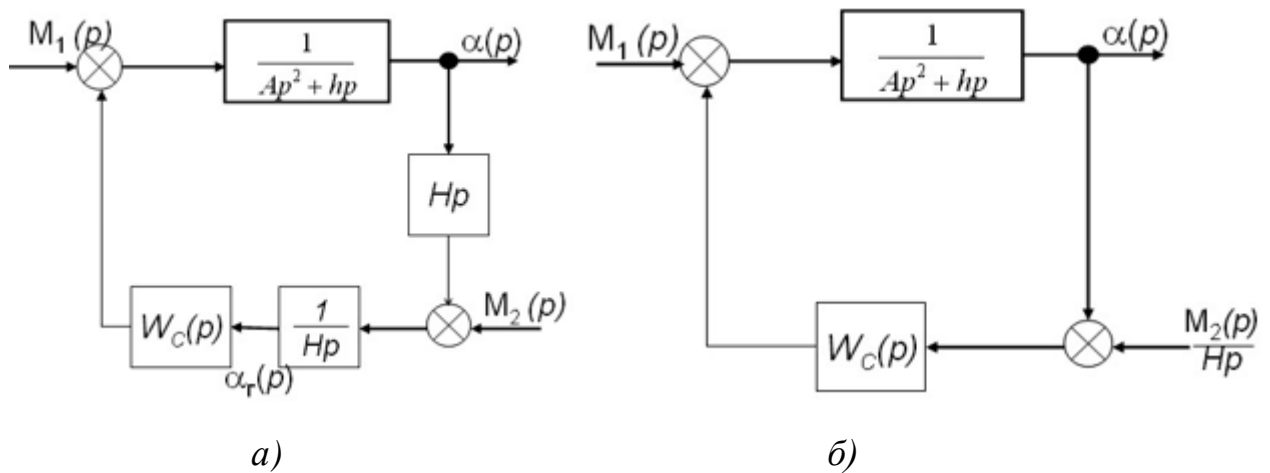


Рис.2.30. Структурна схема індикаторного ГС

З структурних схем (рис. 2.30 ), можна отримати передаточні функції:

$$W_{\alpha, M_1}(p) = \frac{1}{Ap^2 + hp + K}; \quad (2.72)$$

$$W_{\alpha, M_2}(p) = \frac{K}{Hp(Ap^2 + hp + K)}. \quad (2.73)$$

Розглянувши передаточну функцію (2.72), можна зробити висновок, що при дії постійного збурюючого моменту  $M_1$  ГС буде мати статичну помилку:

$$\alpha_{cm} = \frac{M_1}{K}, \quad (2.74)$$

а з передаточної функції (2.55) впливає вираз для кутової швидкості ГС:

$$\omega_{op} = \frac{M_2}{H}. \quad (2.75)$$

### Стійкість індикаторного гіростабілізатора

З структурної схеми (рис. 2.30) маємо передаточну функцію розімкненого ГС:

$$W_p(p) = \frac{W_c(p)}{hp(T_{\Pi}p + 1)} = \frac{KW_{\Sigma\Sigma}(p)}{hp(T_{\Pi}p + 1)(T_y p + 1)(T_{os} p + 1)}, \quad (2.76)$$

При відсутності коригуючого контуру і безінерційного ланцюга стабілізації, частотні характеристики розімкненого ГС представлені на рисунку 2.31, а). Для

забезпечення відповідні запасів стійкості, в ланцюзі стабілізації може бути включений коригувальний контур з передавальною функцією (рис. 2.31, б)):

$$W_{\text{кк}}(p) = \frac{1 + T_1 p}{1 + T_2 p}. \quad (2.77)$$

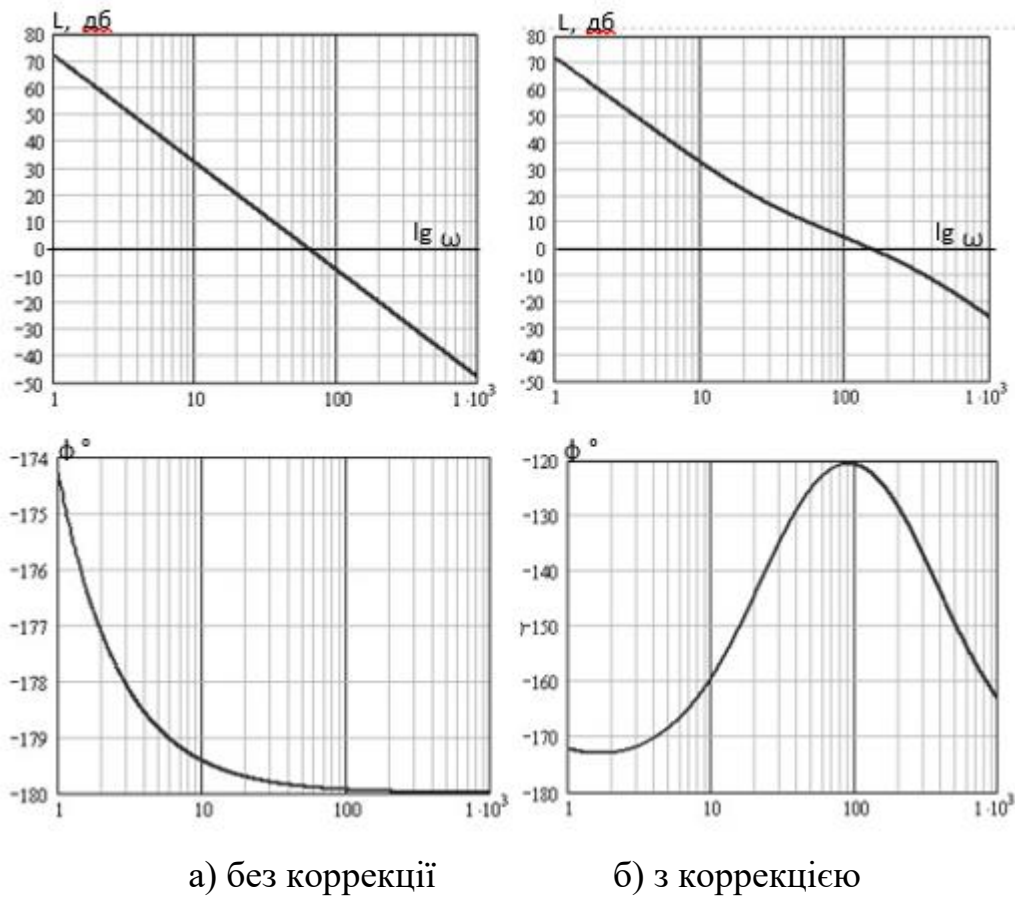


Рис. 2.31. Частотні характеристики індикаторного ГС

## 2.2. ТРИВІСНІ ГІРОСТАБІЛІЗАТОРИ

Тривісні (просторові) гіростабілізатори 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 (ньтонметрів) при дуже жорстких вимогах до похибок орієнтації. Таке завдання має виконуватися в умовах великих перевантажень, вібрацій, змін температури та інших факторів, які супроводжують політ [14].

Для стабілізації ньютонметрів або гіроінтеграторів в просторі застосовуються тривісні гіростабілізатори (ТГС). Основною частиною ТГС (рис. 2.32) є

стабілізований елемент 1 ( або стабілізована платформа), який має посадочні поверхні для монтажу гіроскопів стабілізації (гіроблоків), ньютонometrів або гіроінтеграторів системи управління, рівнів (маятників) і оптичних пристроїв (призм) початкової виставки.

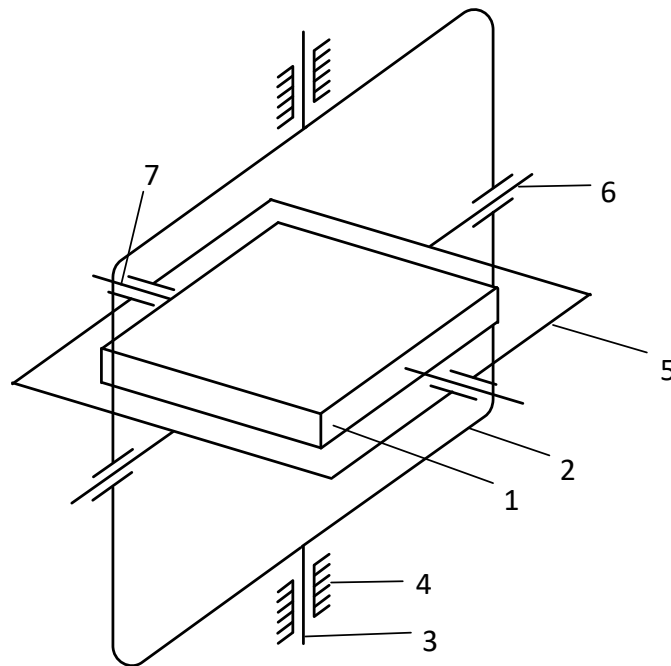


Рис. 2.32. Схема тривісного гіростабілізатора

Для ізоляції стабілізовану платформу від кутового руху об'єкта, використовують систему піввісей і рам, що утворюють триступеневої карданний підвіс. Зовнішня рама 2 такого підвісу за допомогою цапф 3, що утворюють зовнішню вісь підвісу, встановлена в підшипниках корпусу 4 приладу. 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 вісі 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, наприклад, газостатичному [13].

### 2.2.1. Підвіси тривісних гіростабілізаторів

Найбільшу популярність для ізоляції стабілізованої платформи від кутового руху об'єкта, отримав карданний підвіс. Конструкція карданного підвісу

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

визначається в кожному конкретному випадку вимогами по величинам кутових поворотів об'єкта щодо стабілізованою платформи, кількістю і компонованням ньютонметрів, гіроінтеграторов, гіроскопів та інших приладів, розташованих на платформі, допустимими деформаціями підвісу на вигин при перевантаженнях, точністю взаємної виставки приладів і іншими факторами. Залежно від взаємного розташування стабілізованою платформи і рам карданови підвіси підрозділяються на зовнішні і внутрішні [7].

Зовнішній карданний підвіс (рис.3.1) являють собою стабілізовану платформу 1, оточену двома (іноді трьома) рамами: зовнішньої 2 і внутрішньої 5. При необхідності розміщення на стабілізованій платформі телескопів астрокоррекції або подібних до них приладів зовнішня рама підвісу може виконуватися неповною (рис. 2.33 ), у вигляді «ліри».

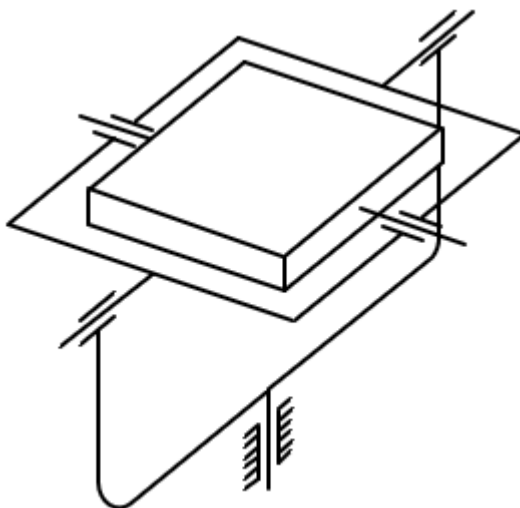


Рис.2.33. Зовнішня рама підвісу у вигляді ліри

При порівняно невеликих розмірах, рами виготовляються як правило, литтям з алюмінієвих сплавів. При великих розмірах рам і при підвищених вимогах до їх жорсткості переходять до коробчатої конструкції з сталі.

Однією з основних переваг зовнішнього підвісу ГС є компактність і досить велика жорсткість самого стабілізованого майданчика. Це дозволяє забезпечити високу точність взаємного положення гіроскопів, ньютонметрів, гіроінтеграторов, призм і інших приладів і її підтримку в умовах високих перевантажень і вібрацій. Ці фактори роблять зовнішній карданний підвіс особливо зручним для малогабаритних ГС з мініатюрними чутливими елементами. Ще однією перевагою

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

зовнішнього підвісу є майже необмежена свобода кутового маневру об'єкту щодо двох (зовнішньої і внутрішньої) вісей підвісу стабілізованої платформи, так як при виконанні таких маневрів, ортогональність вісей підвісу не порушується.

До недоліків зовнішнього підвісу можна віднести: недостатню жорсткість підвісу, великі габарити і вага ГС, обмеження поля зору оптичних пристроїв, труднощі забезпечення рівноги. Іноді для підвищення жорсткості рами зовнішнього підвісу виконують у вигляді сфери (рис. 2.34), але це призводить до суттєвого ускладнення конструкції [13].



Рис.2.33. Зовнішня рама карданного підвісу у вигляді сфери

Внутрішній карданний підвіс (рис. 2.34) виконаний за допомогою застосування траверси 1 і рамки 2, в підшипниках якої встановлена платформа 3. Стабілізована платформа при такому типі підвісу може мати замкнуту конструкцію (рис. 2.34, а) або складатися з двох частин (рис. 2.34, б)), жорстко пов'язаних один з одним віссю, що утворює внутрішню вісь підвісу [13].

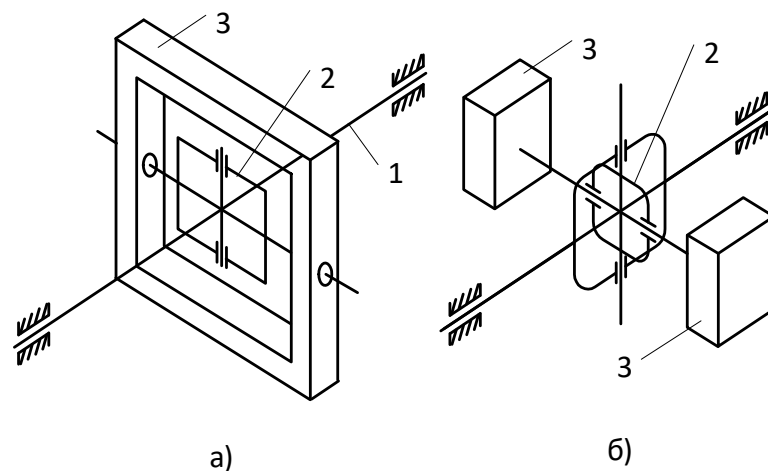


Рис. 2.34. Схеми внутрішнього карданного підвісу

Оскільки конструкція платформи замкнута, то її жорсткість залишається досить високою, це дозволяє забезпечити високу точність взаємного положення гіроскопів і ньютонметров. Але свобода повороту об'єкта суттєво обмежується, але і по внутрішній осі підвісу. При «гантельній» конструкції платформи можна, як і при зовнішньому підвісі, забезпечити широку свободу кутового маневру об'єкту по двох осях підвісу (внутрішньої і зовнішньої), однак забезпечити жорсткість стабілізованого досить майданчику важко. Внутрішній підвіс платформи дозволяє отримати менші габарити і вагу ГС при порівняно великих розмірах гіроскопів і гіроінтеграторів [13].

### 2.2.2.Тривісний гіростабілізатор, побудований на трьох двоступневих гіроскопах

Одна з можливих схем ТГС приведена на рис.2.35.

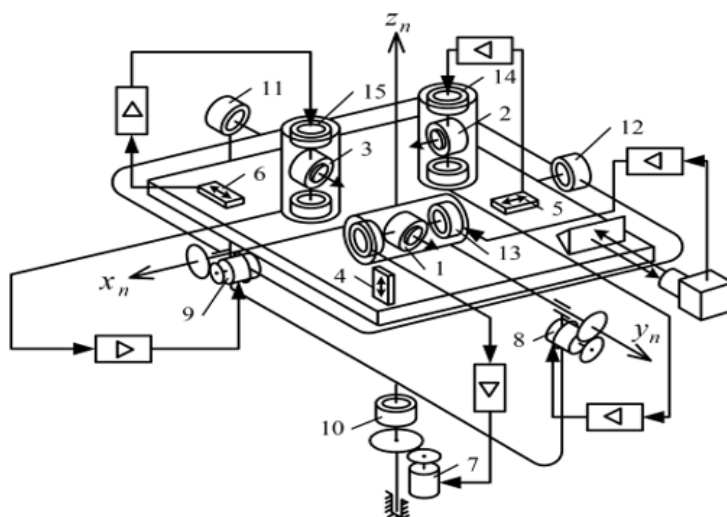


Рис.2.35. ГС , побудований на трьох двоступневих гіроскопах

Стабілізована платформа виконується у кардановому підвісі, який складається з внутрішньої і зовнішньої рам, та забезпечує платформі свободи щодо осей по трьом вісям. На платформі розташовується об'єкт стабілізації, в даному випадку ньютонметри 4, 5, 6 інерціальної навігаційної системи і три двоступневих гіроскопа. Кожен з гіроскопів забезпечений датчиком кута прецесії і датчиком моментів. По осях карданова підвісу – вісях стабілізації – встановлюються стабілізуючі двигуни, що керуються через підсилювачі сигналів задавачів кутів прецесії. Таким чином, ТГС має систему стабілізації, яка складається з трьох каналів, кожен з яких

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

здійснює стабілізацію платформи щодо однієї з вісей. Наприклад, гіроскоп 1 спільно зі стабілізуючим двигуном 7 стабілізує платформу щодо осі зовнішньої рами. Нехай до платформи програми збурює момент по зовнішній вісі підвісу. Цей момент викликає поворот гіроскопа 1 навколо осі прецесії. З датчика кута гіроскопа фіксується сигнал, який після посилення і перетворення в підсилювачі надходить на керуючу обмотку двигуна стабілізації 7. Останній прикладає до платформи момент, протилежний зовнішньому, компенсуючи тим самим його вплив на платформу [13].

Система керування положенням платформи ГС (система корекції або приведення, система стеження) має три канали, які містять чутливі елементи, підсилювачі, датчики моментів. Наприклад, в ТГС, який зображений на рисунку 3.5, для приведення вісей  $X_n, Y_n$  до площини горизонту в якості чутливих елементів ставляться ньтонметри 6 і 5, які пов'язані через підсилювачі з датчиками моментів 15 і 14. Для задання азимутального положення платформі можуть бути застосовані різні курсові прилади, оптичні та інші пристрої. У ГС, зображеному на рисунку 2.35, в якості чутливого елемента системи азимутальної корекції використовується автоколімаційний кутомір АК, що вимірює неузгодженість між виходять з нього і відображеному від призми світловими променями. Якщо платформа відхилилася від необхідного азимутального положення, то відбитий і випускається автоколімаційні промені виявляються непаралельними, що призводить до появи сигналу неузгодженості з фотоприймача. Цей сигнал після посилення в підсилювачі надходить на датчик моменту 13 гіроскопа 1, під дією моменту якого платформа повертається в азимут до ліквідації з'явленої неузгодженості. Для визначення кутових відхилень об'єкту від необхідного положення в просторі на осях підвісу ГС встановлені датчики команд 10, 11 і 12, які на етапі приведення можуть бути використані як елементи грубого приведення [13].

### 2.2.3.Тривісний індикаторний гіростабілізатор

На платформі ТГС (рис. 2.36) встановлено два триступеневих гіроскопа 1 і 2, вимірювальні вісі яких, за відсутності взаємних поворотів платформи і рам підвісу, паралельні вісям стабілізації. На вимірювальних вісях гіроскопів встановлені

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

датчики кутів 3 (6), 4 і 5, сигнали яких використовуються для управління стабілізуючими двигунами.

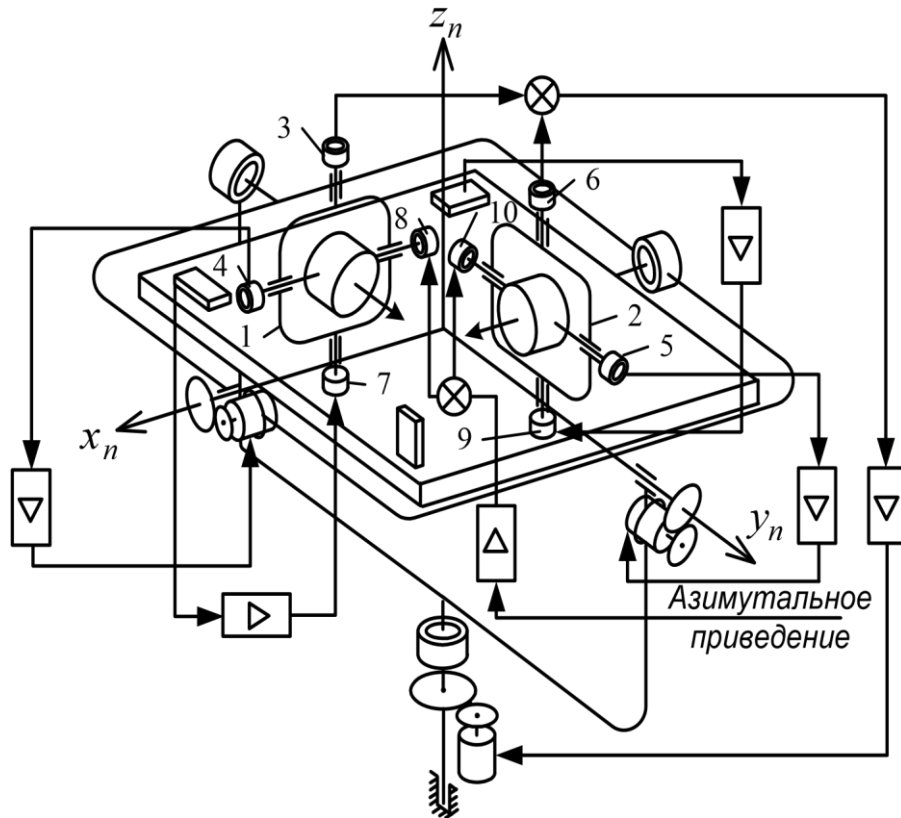


Рис. 2.36. Схема тривісного індикаторного ГС

Встановлення платформи в початкове положення відбувається за допомогою датчики моментів 7, 8 (10) і 9, керовані сигналами з чутливих елементів системи привождения.

#### 2.2.4. Тривісний гіростабілізатор з додатковою рамою підвісу

Для балістичних ракет і ракет-носіїв, призначених для виведення головної частини (космічного апарату) на орбіту, зовнішню і внутрішню осі карданного підвісу платформи зазвичай поєднують з вісями обертання і тангажу, а проміжну вісь встановлюють по вісі рискання ракети. На транспортних і пасажирських літаках зовнішню і проміжну осі карданного підвісу поєднують з вісями крену і тангажу, а внутрішню вісь встановлюють по осі рискання літака [15].

Однак для цілого класу об'єктів (зенітні керовані ракети, літаки-ракетоплани і інші маневруючі об'єкти) може знадобитися широкий маневр по всіх трьох осях. При цьому в звичайному карданному підвісі відбувається блокування обертання і платформа втрачає одну зі ступенів свободи. Для ліквідації явища «складання» карданний підвіс доповнюють ще однією рамою (рис. 3.7).

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49



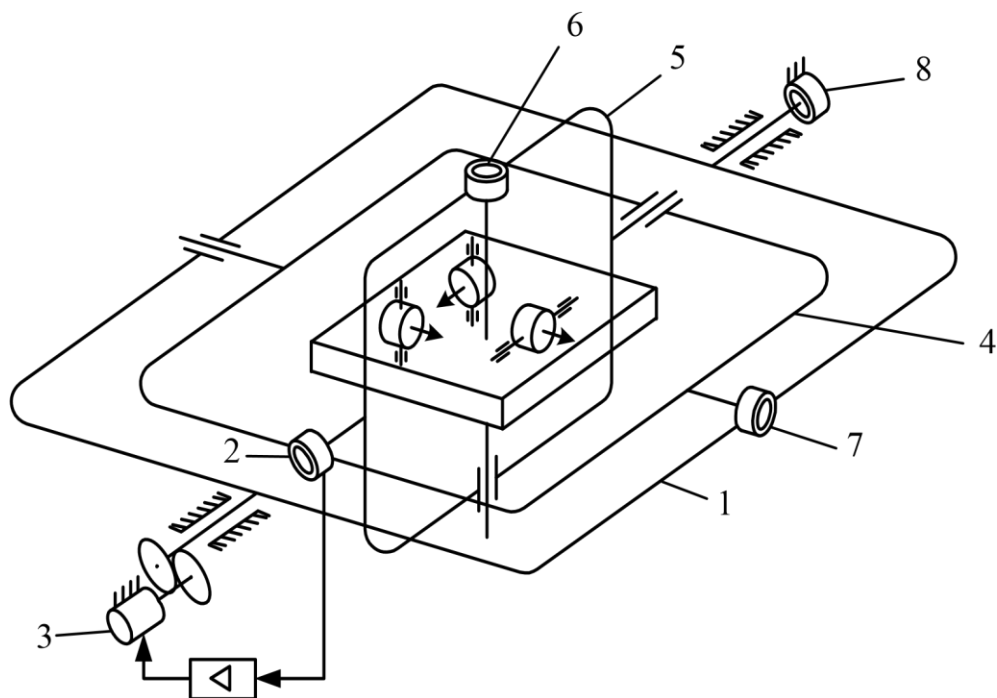


Рис. 2.37. Схема ТГС з додатковою рамою підвісу

Платформа має додаткову раму 1. За допомогою системи стеження, що містить датчик кута 2, підсилювач та виконавчий двигун 3, зовнішня рама 4 наводиться в положення, коли вісь її цапф перпендикулярна площині внутрішньої рами 5. Цим досягається перпендикулярність всіх трьох осей карданного підвісу платформи і працездатність системи при будь-яких можливих маневрах літака. Датчики команд 6, 7 і 8 виробляють сигнали, пропорційні кутам рискання, тангажу і крену об'єкта [13].

### 3.ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

Розглянувши та проаналізувавши матеріали попередніх розділів, було прийнято рішення проектувати активну систему стабілізації камери для зйомок з рук.

#### 3.1.Огляд аналогів

##### 3.1.1 DJI Ronin-MX

Однією з найпопулярніших систем стабілізації на ринку у своєму класі є DJI Ronin-MX.

					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50



Рис.3.1. Система стабілізації DJI Ronin-MX.

Габаритні розміри підвісу DJI Ronin-MX без пристрою для транспортування складають 280x370x340 мм, а разом з ним 560x370x440 мм. При цьому максимальні параметри камери, обмежені нішою підвісу, становлять 130мм за висотою, 160 мм за шириною, і 120 мм за глибиною. Що стосується ваги всієї конструкції без урахування встановленої камери, то вона становить 2,77 кілограма.

Вантажопідйомність становить 4,5 кілограма, що в свою чергу розширює можливості оператора зі встановлення спеціальної відеотехніки на стабілізуючий підвіс. Конструкція грифа, на який встановлюється сама підвіска є модульною, і за рахунок цього досить універсальною. Цей пристрій можна не тільки переносити в руках, а і встановлювати на авто, монтувати на кран або мультикоптер, що збільшує можливості оператора.

DJI Ronin-MX може використовуватися коли прийнятні параметри вологості та температури повітря, зокрема температура знаходиться в межах від -15 до 50 градусів. Робочі струми, що використовуються встановленою електронікою, відповідають:

- 10А – максимальний;
- 300 мА – статичний;
- 600 мА – динамічний.

Роботу основної системи та допоміжних додатково встановлених пристроїв забезпечують відразу 2 інтелектуальні батареї на 14,4 В від DJI. Обидві вони мають назву – Ronin-MX Battery та мають 4-секційну структуру. Працює стабілізатор з

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

ручним керуванням, а також через пульт дистанційного керування по каналу 2,4 Гц. Для використання доступні Bluetooth версії 4.0, порт USB 2.0, а також HDMI для підключення моніторів тощо. Швидкість обертання стабілізатора по осях різниться між собою.

По осі Pan (панорамування) кутова швидкість обертання підвісу має граничне значенням 200 градусів в секунду. По осі Tilt (нахил) – до 100 градусів за секунду, а по осі Roll (кручення) до 30 градусів за секунду. По осі Pan камера на підвісі обертатиметься на 360 градусів. По осі Tilt нагору її можна буде підняти на 270 градусів, а опустити на 150. Точність гасіння вібрації підвісу становить близько 0,02 градуси.

Інтелектуальних акумуляторів цього підвісу два і обидва з них побудовані на основі 4-х секцій літій-полімерного складу. Кожен має ємність 1580 мАг. Один встановлюється на бічну частину підвісу, а інший – на його верхню частину. Технічні характеристики навколишнього повітря для батареї відповідають параметрам робочого середовища підвісу. Головними умовами використання є поріг вологості – трохи більше 80% і температура повітря.

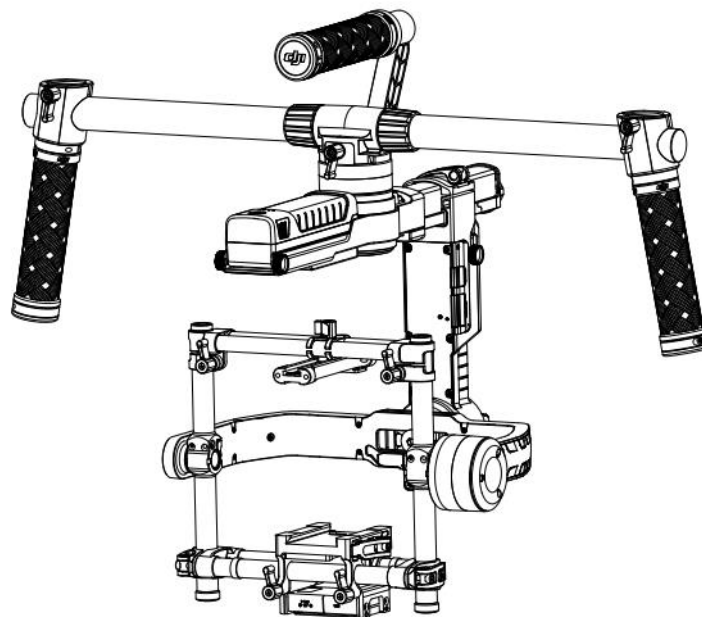


Рис.3.1.1 Система стабілізації DJI Ronin-MX.

У таблиці 3.1 наведено технічні характеристики DJI Ronin-MX.

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики DJI Ronin-MX.

Максимальне навантаження:	3,6 кг
Мотори:	безщіткові (3шт.)
Струм:	300 - 600 мА при 16 В
Сенсори:	IMU, сенсор температури
Процесор:	DJI 32-bit DSP
Точність:	$\pm 0.02^\circ$
Швидкість панорамування:	$90^\circ / \text{сек}$
Швидкість фронтального нахилу:	$100^\circ / \text{сек}$
Швидкість бокового нахилу:	$30^\circ / \text{сек}$
Діапазон панорамування:	$360^\circ$
Діапазон фронтального нахилу:	від $105^\circ$ до $165^\circ$
Діапазон бокового нахилу:	$\pm 25^\circ$
Частота роботи пульта управління:	2.4 ГГц
Особливості:	підтримка D-Bus
Бездротовий інтерфейс:	Bluetooth 4.0
Провідний інтерфейс:	USB, DJI Lightbridge
Максимальний розмір камери:	120 мм (від центра ваги)
Максимальна висота камери:	195 мм (від верху пластини)
Максимальна ширина камери:	160 мм
Батарея:	Ronin-M 4S (до 6 годин роботи)
Робоча температура:	від $-15$ до $+50^\circ \text{C}$
Габарити:	500/210/420 мм
Вага:	2.3 кг

### 3.1.2.DJI Ronin-S

Ще одним дуже цікавим продуктом від компанія DJI є Ronin S - ручний стабілізатор професійного рівня. Унікальність нової розробки в тому, що це перший стабілізатор для гібридних камер (DSLR, бездзеркальні), оснащений однією рукояткою.

					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53



Рис.3.1.2. DJI Ronin-S

Ronin-S — зручна та висококласна зйомка без обмежень. Ручний стедікам відрізняється універсальністю використання. Він розроблений для камер бездзеркальних та дзеркальних, поєднується з док-станціями, 2-портовими планшетами та з додатковим знімальним обладнанням. Завдяки зйомній рукоятці апарат набуває більшої універсальності.

Дизайн Ronin-S відрізняється ергономічністю та плавністю ліній, що не обмежують рухів користувача в будь-якій ситуації, а також виключають найменшу вібрацію. 3-осьовий ручний стабілізатор виробляється з авіаційного алюмінію, що має високу міцність, здатність витримувати сильні навантаження на знімальному майданчику. Портативний пристрій можна використовувати будь-де, для його роботи не потрібні кабелі або перехідники. Незважаючи на невеликі габарити, його вантажопідйомність досягає до 3,6 кг.

Переваги Ronin-S:

- Підтримка трьох режимів роботи (ліхтарика, вертикальний, підвісний).
  - Перехід від динамічної зйомки до статичної відбувається плавно.
- Технологія SmoothTrack дозволяє зберігати налаштування у кількох групах та переходити від однієї до іншої одним натисканням.
- Легке та зручне керування лише однією рукою.
  - Застосування покращених алгоритмів та підтримка потужних двигунів.
  - Фокус налаштовується за лічені секунди.

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

- Додано новий спортивний режим. За його активації стабілізатор набагато швидше реагує на рухи (у тому числі і на інтенсивні).
- Поєднання різних моделей камер.

Як вдалося розробнику DJI досягти універсальності пристрою? Завдяки поліпшенню системи стабілізації компенсуються недоліки матриць, що мають великий зум, а за підтримки нових алгоритмів, стедікам підлаштовується під систему стабілізації матриць і об'єктива, і камери.

Для автономної роботи пристрою розробник передбачив батарею ємністю 2400 мАг, що забезпечує 12 годин безперервної роботи за умови повного балансування апарата. Акумулятор повністю заряджається за 2 години, а якщо скористатися адаптером USB (24W USB), то достатньо і 15 хвилин.

Виробник передбачив спеціальні кнопки для контролю стабілізатора та камери. З їх допомогою користувач вибирає основні установки, починає записувати або зупиняє зйомку. Положення камери легко змінюється за допомогою високоточного джойстика – так виходять точні кадри.

Стедікам Ronin-S забезпечений кріпленнями для встановлення фірмових аксесуарів та додаткового обладнання (бездротовий пульт дистанційного керування, спалахи, мікрофони, відеопередавачі). Більше того, щоб створити низькокутні кадри, рукоятка знімається та стабілізатор встановлюється на RC Buggy (радіокерована модель) або кран для отримання панорамних знімків.

У таблиці 3.2 зазначено технічні характеристики пристрою.

Таблиця 3.2 Технічні характеристики DJI Ronin-S

Габарити камери	Максимальна глибина від центру тяжіння опорної пластини камери: 98 мм Максимальна висота, виміряна від верху опорної пластини камери: 150 мм Максимальна ширина: 205 мм
Елемент живлення	Модель: RB1-2400mAh-14,4V Тип: 18650 LiPo Ємність: 2400 мАг Енергія: 34,56 Втг

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Інтерфейси підключення	Bluetooth 4.0 USB-C
Максимальне навантаження	3,6 кг
Максимальна кутова швидкість	360 ° / с по кожній з вісей
Діапазон нахилу	Вісь повороту: безперервне обертання на 360° Вісь нахилу: від + 205° до - 115° Вісь крену: від + 230° до - 90°
Контрольований діапазон обертання	Вісь панорамування: безперервне обертання на 360° (режим Roll 360) Вісь нахилу: від +180° до -90° Вісь обертання: ±30°, безперервно обертання на 360°
Діапазон кутових вібрацій	± 0,02 °

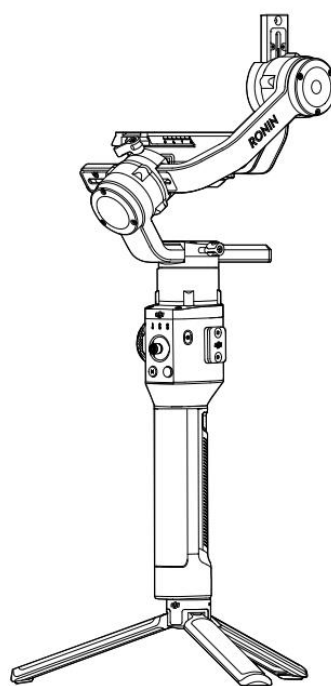


Рис.3.1.3. DJI Ronin-S

### 3.1.3.Zhiyun CRANE 3S

Відомий китайський виробник різних аксесуарів для зйомки відео, компанія Zhiyun, анонсувала нову версію стедикаму CRANE 3S, який здатний працювати з важкими камерами вагою до 6,5 кг, такими як Canon EOS 1DX, Blackmagic Pocket Cinema Cameras і навіть з більшими, наприклад Red Digital Cinema, Canon Cinema

					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

EOS, Sony FS/FX та іншими. Стабілізатор CRANE 3S заповнює пробіл між моделями для керування однією рукою, розрахованими для невеликих камер, та більш масивними професійними рішеннями. У компанії Zhiyun вирішили, що існує потреба в порівняно компактному рішенні, яке дозволило б керувати відеокамерами середнього розміру.



Рис.3.1.4. Zhiyun CRANE 3S

Zhiyun CRANE 3S не є інноваційним рішенням, розробленим з нуля, він спроектований на базі вже існуючих моделей компанії і трохи нагадує за своїм дизайном CRANE 3 LAB, проте 3S використовує нові двигуни та інші деталі конструкції, які дозволяють йому впевнено керувати камерами вагою до 6,5 кг. Модульна конструкція CRANE 3S забезпечує сумісність із різними слайдерами, кранами, кранами зі стрілами та іншою моторизованою технікою для зйомки відео. Крім того, модульна конструкція дозволяє зняти один з модулів та використовувати цей стедикам з традиційними дзеркалками або великими бездзеркальними камерами.

Ще однією особливістю CRANE 3S є нова система, здатна заблокувати всі три осі обертання. Також на стабілізатор можна закріпити систему фолоу-фокус великого розміру.

					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57



CRANE 3S пропонує додаткову знімну рукоятку: тепер є рукоятка EasySling, яка використовується для зйомки у вертикальному та нижньому положенні та рукоятка SmartSling, оснащена панеллю управління з OLED-екраном.

У стабілізаторі CRANE 3S використовують три акумулятори 18650, які дозволяють працювати до 12 годин поспіль. Для тих випадків, коли потрібне додаткове живлення, у відсіку для акумуляторів є порт для живлення від 25,2 В постійного струму.

Таблиця 3.3 Технічні характеристики Zhiyun CRANE 3S

Габарити пристрою	346 x 98 x 344 мм
Елемент живлення	Тип: 18650 Ємність: 2600 мАг
Інтерфейси підключення	Bluetooth 4.0 USB-C
Максимальне навантаження	6.5 кг
Максимальна кутова швидкість	270 ° / с по кожній з вісей
Діапазон нахилу	Вісь повороту: 360° Вісь нахилу: 330° Вісь крену: 360°
Маса пристрою	2.5 кг (без штатива та батарей)
Діапазон робочих температур	від -10°C до +45°C

### 3.2. Постановка задачі

Пристрій проектується для камер, габаритні розміри яких не більші за 130мм/200мм/120мм. Габаритні розміри самого пристрою повинні бути не більші за 500x220x440 мм. Вага приладу без елементів живлення у межах 2.3-2.5 кг. Вантажопідйомність має становити не менше двох кілограмів. Може експлуатуватися при температурі від -20°C до 50°C.

Роботу основної системи та допоміжних додатково встановлених пристроїв повинні забезпечувати 2 батареї на 12 В.

По всіх осях кутова швидкість обертання підвісу матиме граничне значенням 200 °/с. Вимоги до діапазону нахилу: по кожній з вісей обертання на 360°.

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

### 3.3.Опис конструкції та принципу дії системи стабілізації

Розглянемо конструкцію та принцип дії системи стабілізації.

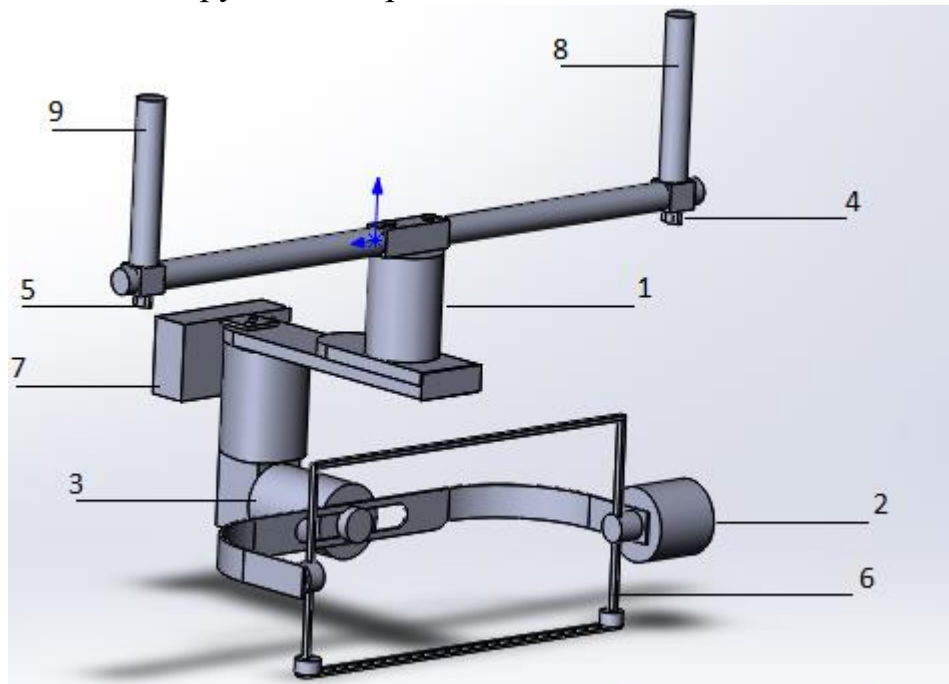


Рис.3.2.Конструкція приладу

Розглянемо рис.3.2 де зображено конструкцію приладу. У приладі розташовані три гіроблока – блок який включає у себе двигун стабілізації, його редуктор, гіроскопічний датчик положення та підсилювач сигналу (1,2,3). Вісі гіроблоків чутливості розташовуються по трьох осях стабілізації. До рухливої рами 6 кріпиться зйомна платформа(пластина), не показана на рисунку, на яку встановлюється камера. Пристрій необхідно використовувати тримаючи в двох руках, для чого встановлені ручки 8 та 9. Завдяки піджимним гвинтам 5 та 4 , ручки можна встановлювати в зручному для користувача місці та положенні, що підвищує універсальність приладу. Батарейний відсік 7 слугує для розміщення елементів живлення, а саме двох батарей 12 В, від яких живляться усі елементи пристрою.

Під дією зовнішнього збурюючого моменту на стабілізовану платформу, на якій знаходиться камера, вона змінює своє положення в просторі, відхиляючись на деякі кути від вісей чутливості (стабілізації), гіроскопічні датчики положення фіксують це відхилення і подають відповідний сигнал на мікроконтроллер, який забезпечує пропорційним струмом двигуни стабілізації, які живляться від батарей.

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Двигуни виробляють момент стабілізації, протилежний по знаку зовнішнім моментам. Сигнал з датчика кута посилюється за допомогою підсилювача.

### 3.4. Побудова структурної схеми

Для побудови структурної схеми опишемо детальніше принцип дії системи. Коли на рухому платформу, на якій знаходиться камера, діє момент  $M$ , під його дією вона починає відхилятися від початкового положення стану рівноваги. Датчик кута (ДК), на основі гіроскопу, сприймає кут відхилення та видає пропорційний сигнал, який надходить на підсилювач (П). Після посилення сигналу, він надходить на мікроконтроллер (МК), який забезпечує пропорційним струмом двигуни стабілізації, які живляться від батарей. Двигун стабілізації (ДС), в якості якого використовується безщіттовий двигун колекторного типу, виробляє момент стабілізації ( $M_c$ ), що протилежний по знаку збурюючому моменту  $M$ .

З урахуванням матеріалу попередніх розділів, можна скласти наступну структурну схему:

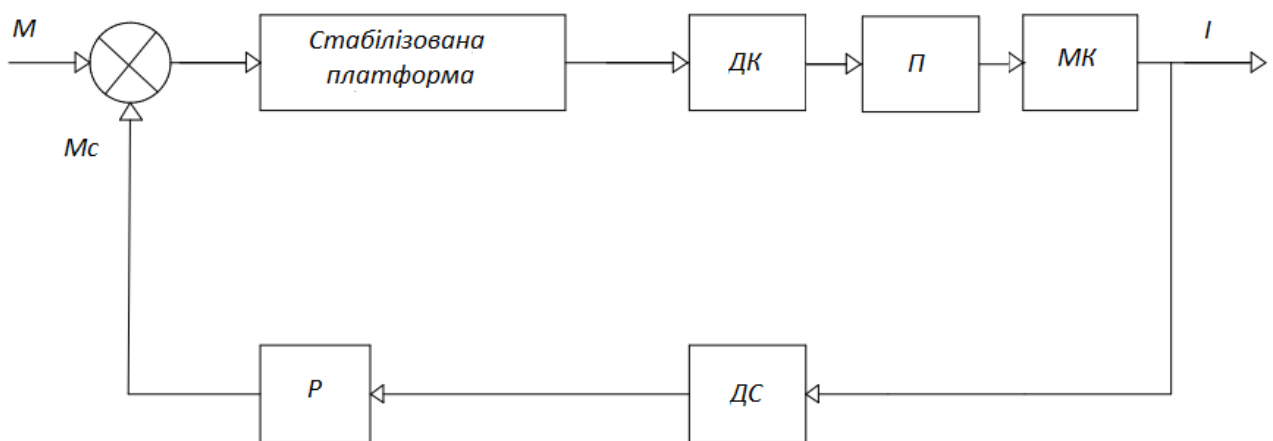


Рис.3.3. Структурна схема пристрою стабілізації

Розглянемо схему детальніше. При дії зовнішнього збурюючого моменту  $M_3$ , рівняння руху платформи гіростабілізатора буде мати вигляд:

$$A\ddot{\alpha} + h\dot{\alpha} - K_c\alpha = M_3, \quad (3.1)$$

де  $A$  – сумарний момент інерції стабілізованої платформи, включаючи гіроблоки і ротора двигунів стабілізації;

$M_c$  – момент стабілізації ;

$h$  – коефіцієнт демпфування щодо осі стабілізації.

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Коефіцієнт демпфування оцінюється за наступною формулою:

$$h_{дс} = \frac{M_{пуск}}{n_{хх}} \quad (3.2)$$

Тут  $n_{хх}$  – швидкість холостого ходу датчика моменту , а  $M_{пуск}$  – пусковий момент двигуна.

$$h = i^2 \cdot h_{дс}, \quad (3.2.1)$$

де  $i$  – передаточне число редуктора.

Момент стабілізації , можна розрахувати за виразом:

$$M_c = K_c \alpha ,$$

де  $K_c$  – коефіцієнт стабілізації , що дорівнює:

$$K_c = K_{дк} K_{п} K_{дс} K_{р} K_{мк} , \quad (3.2.2)$$

де  $K_{дк}$  – чутливість датчика кута ;

$K_{п}$  – коефіцієнт посилення підсилювача;

$K_{мк}$  – коефіцієнт перетворення мікропроцесору;

$K_{дс}$  – чутливість двигуна стабілізації ;

$K_{р} = i$  – передаточне число редуктора двигуна стабілізації.

Застосовуючи до рівняння (3.1) перетворення Лапласа, отримаємо:

$$(Ap^2 + hp)\alpha(p) - K_c \alpha(p) = M_з \quad (3.3)$$

З рівняння (3.3) можна побудувати наступну структурну схему:

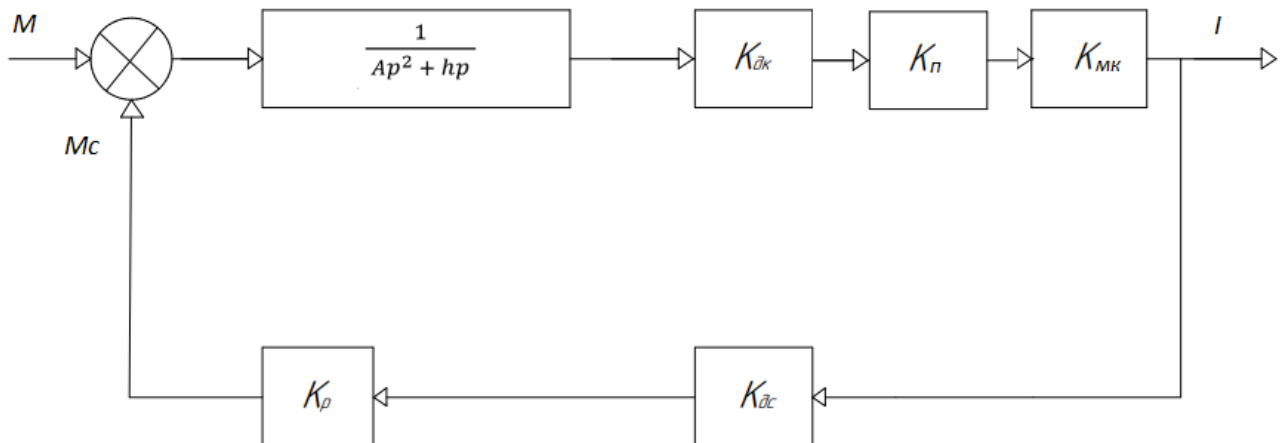


Рис.3.4. Структурна схема

Відповідно рис.3.4 , передаточна функція гіростабілізатора буде мати вигляд:

$$W(p) = \frac{K_{дк} K_{п}}{Ap^2 + hp + K_c} \quad (3.4)$$

					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Передаточна функція (3.4) відповідає коливальній ланці.

Передаточна функція в розімкненому стані системи :

$$W_{\text{роз}}(p) = \frac{K_{\text{дк}}K_{\text{п}}}{Ap^2 + hp} \quad (3.4.1)$$

При розриві ланцюга зворотнього зв'язку , пристрій буде працювати як вимірювальний прилад кута повороту рухомої платформи , при цьому ніяк не впливаючи на її стабілізацію.

### **3.5.Вибір конструктивних елементів**

#### **3.5.1.Вибір приводу стабілізації. Огляд аналогів.**

##### **Двигун ДМ-5**

В якості двигунів стабілізації розглянемо датчик моменту ДМ-5, що є двигуном постійного струму колекторного типу. Даний двигун забезпечує максимальний крутний момент 143 Н·см, що дозволяє успішно придушувати збурюючі моменти по вісі стабілізації. Виробник ООО «ЗАПАДПРИБОР» (Росія).

Технічні характеристики ДМ-5:

- 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 ° С;
- Температурний діапазон - -60 .. + 80 ° С;
- Ресурс - 2000 годин;
- Час безперервної роботи - 20 годин;
- Номінальний зовнішній діаметр - 30 мм;
- Товщина - 13,1 мм;
- Діаметр вала – 8 мм;
- Максимальний крутний момент - 143 Н·см;

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

## Двигун GA14-N20

Двигун GA14-N20 (виробництво Китай) — компактних габаритів редукторний двигун постійного струму колекторного типу. Двигун має доступну вартість, а також непогані технічні характеристики.

Технічні характеристики GA14-N20:

- 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 - -40 .. + 60 ° С;
- Діаметр - 20 мм;
- Довжина – 15 мм;
- Діаметр вала – 4 мм;
- Максимальний крутний момент - 112 Н·см;

**Висновки:** розглянувши представлені двигуни, було прийнято рішення в якості приводу стабілізації використовувати двигун ДМ-5 через більший максимальний момент та прийнятнішу крутизну статичної характеристики.

### 3.5.2. Розрахунок та вибір діаметру вала.

Перевіримо діаметр вала обраного двигуна на відповідність номінальним навантаженням. При дії на вал крутного моменту  $M_{кр}$  на вал, рекомендований діаметр для нього, може бути знайдений з виразу:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 M_{кр}}{\pi [\tau]}} \quad (3.4.2)$$

де  $[\tau]$  – допустиме дотичне напруження матеріалу вала.

З метою зменшення пружнього мертвого ходу в точних і силових механізмах, кути закручування перерізів валів один щодо одного обмежуються допустимим кутом закручування  $\varphi$ . Умова жорсткості вала при крученні має:

$$[\varphi] \leq [\varphi]_{max} \quad (3.4.3)$$

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Діаметр валу на закрученій ділянці визначається за формулою:

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{32 L_B M_{кр}}{\pi G [\varphi]}} \quad (3.4.4)$$

де  $L_B$  – робоча довжина валу;

$G$  – модуль здвигу матеріалу.

Якщо умова жорсткості при діаметрі валу  $d$  не виконується, то рекомендується обирати більший з розрахованих діаметрів. Допустимий кут повороту валу оберемо  $\varphi = 20$  кутових хвилин або  $\frac{\pi}{540}$ . Робоча довжина валу дорівнює 50мм.

Задамо величини  $[\tau]$  та  $G$ . Для матеріалу сталь 40:

$$[\tau] = 25 \text{ МПа};$$

$$G = 8 \cdot 10^4 \text{ МПа}.$$

Максимальне значення крутного моменту, що діють на валу  $M_{кр} = 1.43 \text{ Нм}$ .

Тоді діаметр валу, відповідно (3.4.2) буде:

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

А діаметр валу на закрученій ділянці (3.4.4):

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

Отже, умова жорсткості виконується. Беремо більший з розрахованих діаметрів  $d = 6.63 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 6.63 \text{ мм}$  та вибираємо з ряду розмірів стандартних валів діаметр валу  $d = 7 \text{ мм}$ .

### 3.5.3. Вибір датчика кута. Огляд аналогів.

#### Датчик GY-401

В якості датчика кута розглянемо гіроскопічний датчик GY-401 виробництва компанії Futaba (Японія). Датчик на основі електронного гіроскопу має досить непогані технічні та метрологічні характеристики та низьку вартість. Нижче наведено його технічні характеристики.

Технічні характеристики датчика кута GY-401:

- Живлення – 5В;

- Струм – 0.5 мА;

					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

- 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;
- Габарити – 20 мм/9 мм/2 мм.

### **Датчик на основі гіроскопу ENC-03J**

Також цікавим варіантом буде ENC-03J - електронний гіроскоп, який з'явилися зовсім недавно, і використовуються як датчик положення (вимірює кут відхилення). Виробництвом даних датчиків займається фірма Murata (Японія).

Датчик мають високу швидкість відгуку, низьку напругу живлення та невеликий струм споживання. Датчик може експлуатуватися у різних кліматичних умовах завдяки великому діапазону робочих температур. До недоліків давнього варіанту можна віднести вартість, яка є вищою ніж у попереднього варіанту. Нижче наведені технічні характеристики датчика.

Технічні характеристики гіроскопічного датчика на гіроскопі ENC-03J:

- Напруга живлення – 2,7-5,5 В;
- Струм - 0,5-15 мА;
- Діапазон робочих температур -15...+75 °С
- Крутизна вихідної характеристики - 0,67 В/°;
- Частота опитування – 50 гц;
- Максимальна кутова швидкість -  $\pm 300^\circ/\text{с}$ ;
- Похибка лінійності характеристики -  $\pm 1\%$ ;
- Маса - 20г;
- Габарити – 12/8/1 мм;

**Висновки:** розглянувши представлені датчики кута, було прийнято рішення в використовувати датчик на основі електричного гіроскопу ENC-03J через менші габарити датчики та більш прийнятні технічні та метрологічні характеристики.

### **3.5.4. Вибір підсилювача. Огляд аналогів.**

**AS89000**

					<i>МД ПМ-01 мп. 000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65



Підсилювач AS89000 - це принципово нове універсальне рішення компанії FUTEK (США) для лінійного посилення в мВ/В діапазоні. Підсилювач має високу точність та простоту інтеграції. AS89000 виконаний в алюмінієвому корпусі з вбудованим затискачем за стандартом DIN, призначеним для використання в промислових умовах. Нижче наведено його технічні характеристики.

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 температур: від -40°C до 125°C;

#### **ТРА6404-Q1**

Також досить цікавим варіантом є підсилювач ТРА6404-Q1 виробництва Texas Instruments (США). Підсилювач має хороші технічні характеристики та невисоку вартість.

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;

**Висновки:** розглянувши представлені підсилювачі, вибір зроблено на користь підсилювача AS89000 через більший коефіцієнт підсилення сигналу.

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

### 3.6. Розрахунок передаточних функцій пристрою

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

Сумарні моменти інерції стабілізованої платформи стабілізованої платформи та гірблоків 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 (3.2), знайдемо коефіцієнт демпфування двигуна ДМ5.

Задамося величиною швидкості холостого ходу:  $n_{\text{хх}} = 1000 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$ . Пусковий момент двигуна ДМ-5 складає  $M_{\text{пуск}} = 0,143 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . Тоді коефіцієнт демпфування буде:

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

Відповідно (3.2.1):

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

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

З виразу (3.2.2) обчислимо коефіцієнт стабілізації, підставивши вищеприведені чутливості та перевіривши їх в систему СІ:

$$K_c = K_{\text{дк}} K_{\pi} K_{\text{мк}} K_{\text{дс}} K_p = 0,67 \cdot 6,2 \cdot 0.298 \cdot 0.011 \cdot 5 = 0.06831 \text{ град / Нм};$$

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

Скориставшись виразом (3.4), та підставивши чисельні дані, можна знайти передаточні функції по кожній з вісей стабілізації:

$$W_x(p) = \frac{K_{\text{дк}} K_{\pi} K_{\text{мк}}}{I_x p^2 + h p + K_c} = \frac{1.242}{0.05729 p^2 + 0.03415 p + 0.06831}; \quad (3.5)$$

$$W_y(p) = \frac{K_{\text{дк}} K_{\pi} K_{\text{мк}}}{I_y p^2 + h p + K_c} = \frac{1.242}{0.01645 p^2 + 0.03415 p + 0.06831}; \quad (3.6)$$

$$W_z(p) = \frac{K_{\text{дк}} K_{\pi} K_{\text{мк}}}{I_z p^2 + h p + K_c} = \frac{1.242}{0.0565 p^2 + 0.03415 p + 0.06831}. \quad (3.7)$$

					<i>МД ПМ-01 мн. 000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

### 3.7.Перехідний процес

Перехідний процес – одна з найважливіших характеристик систем автоматичного управління, за виглядом якої можна судити про швидкокодію системи, її стійкість та якість уцілому. Для визначення перехідного процесу скористаємося виразом (3.8):

$$h(t) = L^{-1}(W(p)) . \quad (3.8)$$

Відповідно (3.8) та (3.5-3.7) , отримаємо вирази для перехідних процесів кожного з гірблків:

$$h_x(t) = L^{-1}(W_x(p))=L^{-1}\left(\frac{1.242}{0.05729p^2+0.03415p+0.06831}\right) = -3.159je^{(-0.0298-0.344j)t}(e^{(0.688j)t}-1);$$

$$h_y(t) = L^{-1}(W_y(p))=L^{-1}\left(\frac{1.242}{0.01645p^2+0.03415p+0.06831}\right) = -5.935je^{(-0.1038-0.636j)t}(e^{(1.272j)t}-1);$$

$$h_z(t) = L^{-1}(W_z(p)) = L^{-1}\left(\frac{1.242}{0.0565p^2+0.03415p+0.06831}\right) = -3.173je^{(-0.0302-0.3464j)t}(e^{(0.6928j)t}-1).$$

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

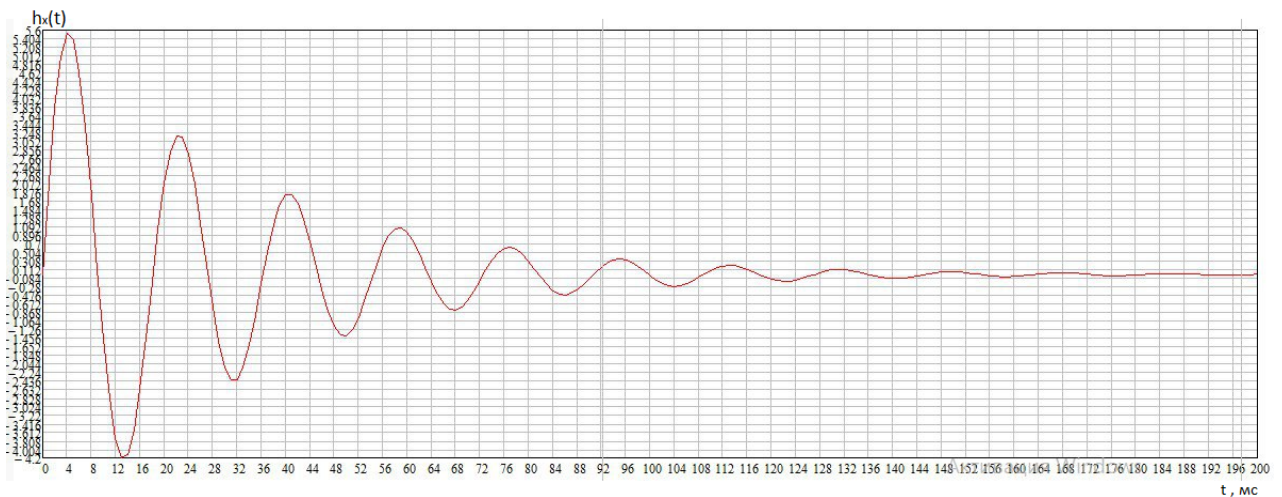


Рис.3.5.Графік перехідного процесу системи по вісі X

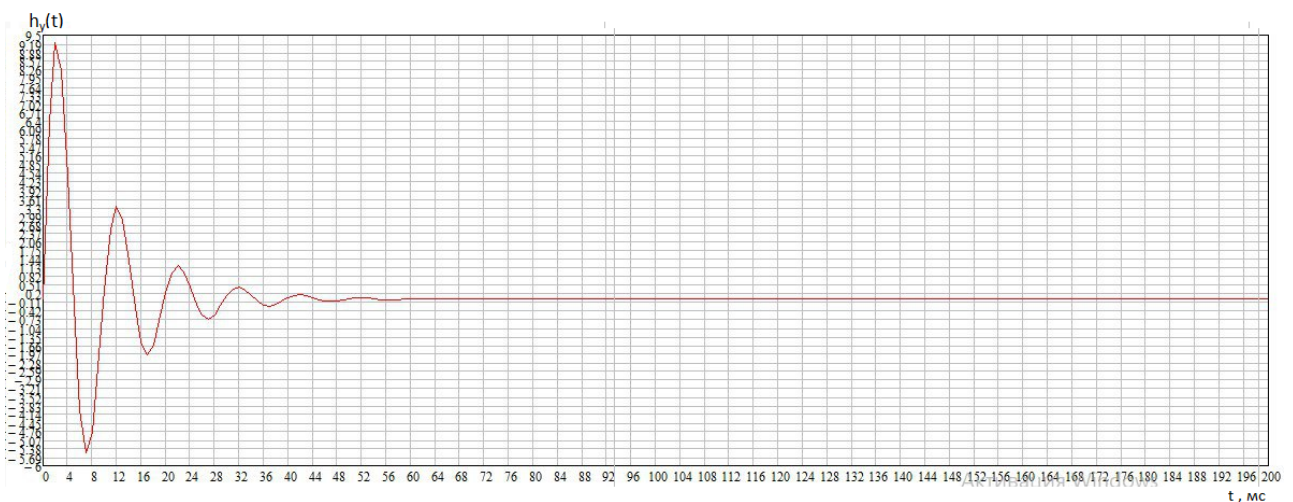


Рис.3.6.Графік перехідного процесу системи по вісі Y

					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

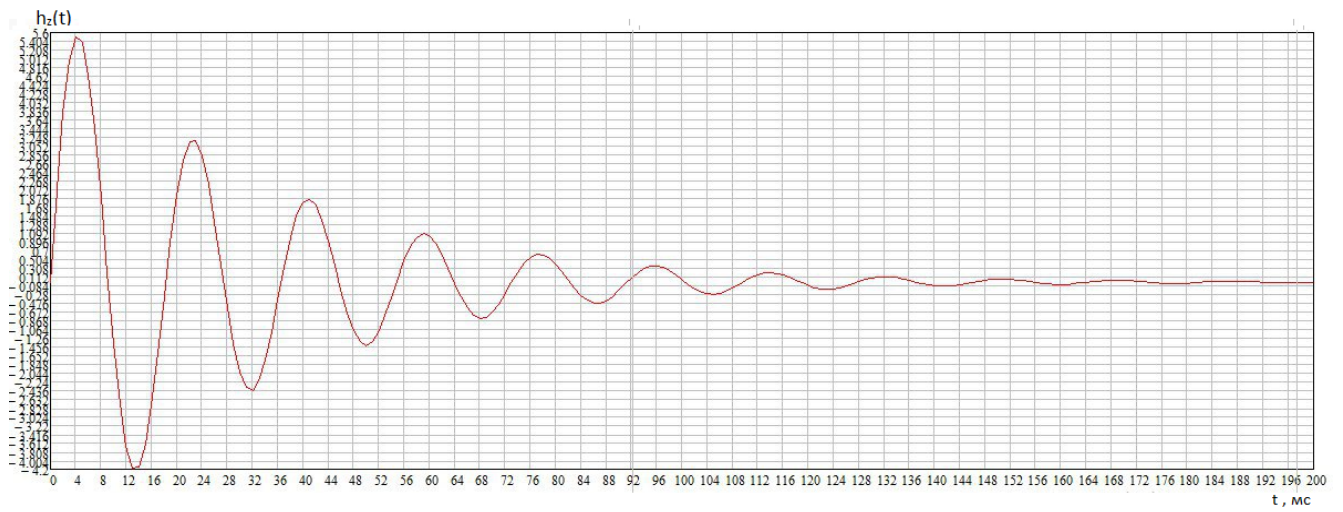


Рис.3.7.Графік перехідного процесу системи по вісі Z

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

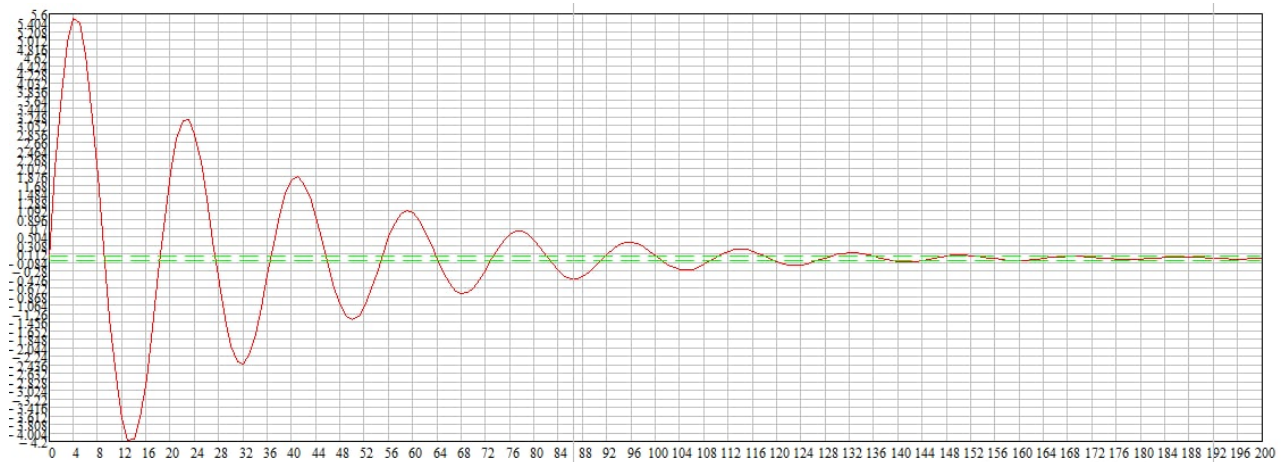


Рис.3.7.1.Графік перехідного процесу системи по вісі X



Рис.3.7.2.Графік перехідного процесу системи по вісі Y

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

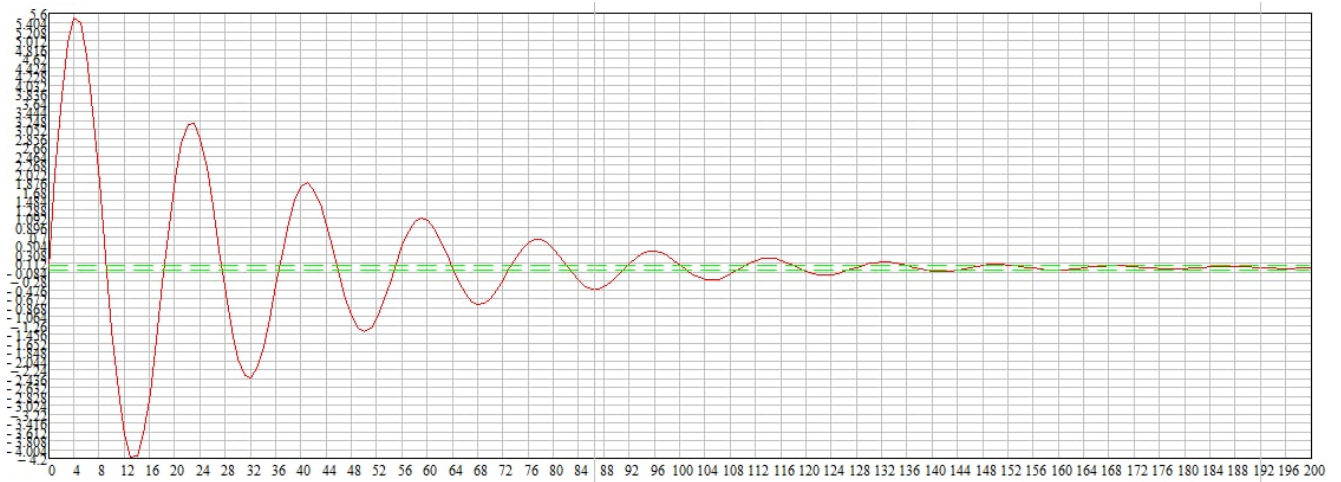


Рис.3.7.3.Графік перехідного процесу системи по вісі Z

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.

$$t_{пк} = 0.168 \text{ с};$$

$$t_{пу} = 0.56 \text{ с};$$

$$t_{пз} = 0.152 \text{ с};$$

Декремент затухання визначається за формулою (3.8.1):

$$\gamma = \frac{|h_{max1} - h_{уст}|}{|h_{max1} - h_{уст}|} \cdot 100\% \quad (3.8.1)$$

Отримуємо:

$$\gamma_x = 1.71;$$

$$\gamma_y = 2.612;$$

$$\gamma_z = 1.73;$$

### 3.8.Частотні характеристики системи

Для визначення частотних характеристик нам необхідно перейти в частотну область. Для цього перепишемо рівняння (3.5-3.7) з підстановкою  $p = j\Omega$ :

$$W_x(j\Omega) = \frac{1.242}{0.05729(j\Omega)^2 + 0.03415j\Omega + 0.06831}; \quad (3.9)$$

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

(3.10)

$$W_z(j\Omega) = \frac{1.242}{0.0565(j\Omega)^2 + 0.03415j\Omega + 0.06831}. \quad (3.11)$$

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Розкривши дужки (3.9-3.11) та згрупувавши дійсні числа та уявні числа окремо, домножимо знаменники на комплексно-спряжені вирази . Отримаємо:

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

$$= \frac{-0.07115\Omega^2+0.0848}{(-0.01645\Omega^2+0.06831)^2+0.03415\Omega^2} - j \frac{0.04235\Omega}{(-0.01645\Omega^2+0.06831)^2+(0.03415\Omega)^2};$$

$$W_y(j\Omega) = \frac{1.242(-0.1645\Omega^2+0.06831-0.03415j\Omega)}{(-0.01645\Omega^2+0.06831+0.03415j\Omega)(-0.01645\Omega^2+0.06831-0.03415j\Omega)}$$

$$= \frac{-0.0204\Omega^2+0.0848}{(-0.0565\Omega^2+0.06831)^2+0.03415\Omega^2} - j \frac{0.04235\Omega}{(-0.0565\Omega^2+0.06831)^2+(0.03415\Omega)^2};$$

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

$$= \frac{-0.0702\Omega^2+0.0848}{(-0.0565\Omega^2+0.06831)^2+0.03415\Omega^2} - j \frac{0.04235\Omega}{(-0.0565\Omega^2+0.06831)^2+(0.03415\Omega)^2}.$$

Вирази АЧХ та ФЧХ можуть бути знайдені по формулам:

$$A_x(\Omega) = \sqrt{Re(W(j\Omega))^2 + Im(W(j\Omega))^2}; \quad (3.12)$$

$$\Phi_x(\Omega) = \arctg\left(\frac{Im(W(j\Omega))}{Re(W(j\Omega))}\right). \quad (3.13)$$

Відповідно (3.12) та (3.13):

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

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

$$A_y(\Omega) =$$

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

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

$$A_z(\Omega) =$$

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

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

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

					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71



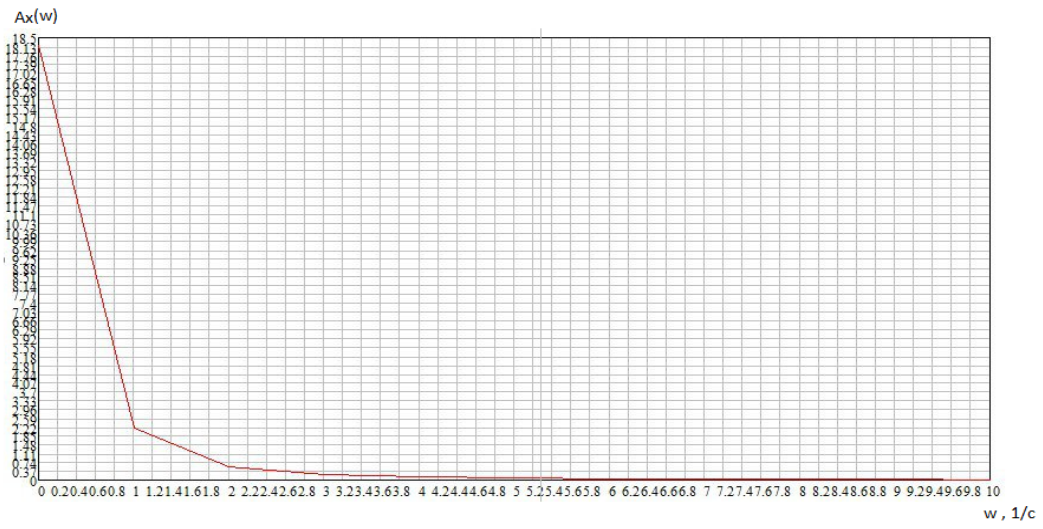


Рис.3.8. АЧХ системи по вісі X

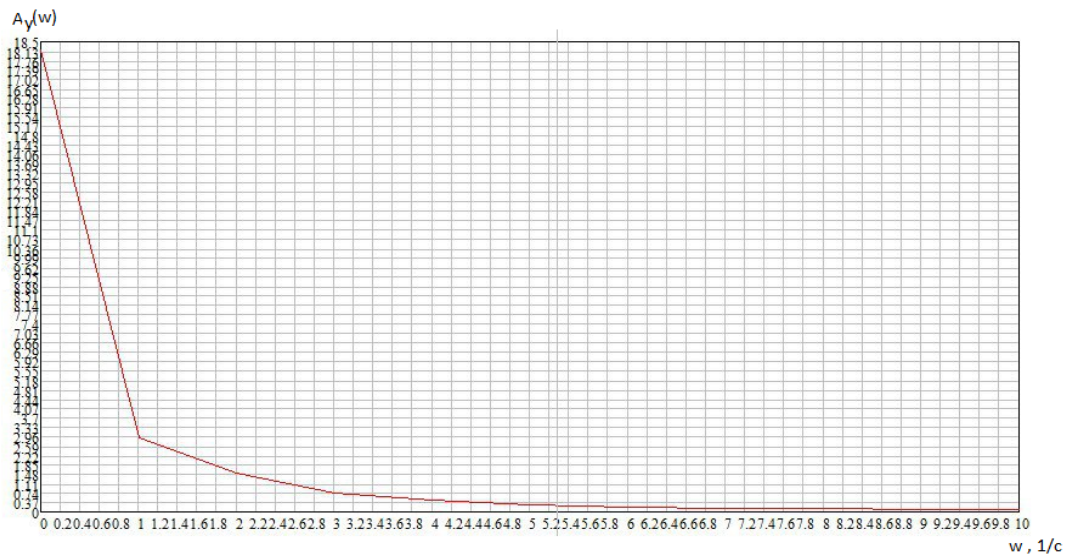


Рис.3.9. АЧХ системи по вісі Y

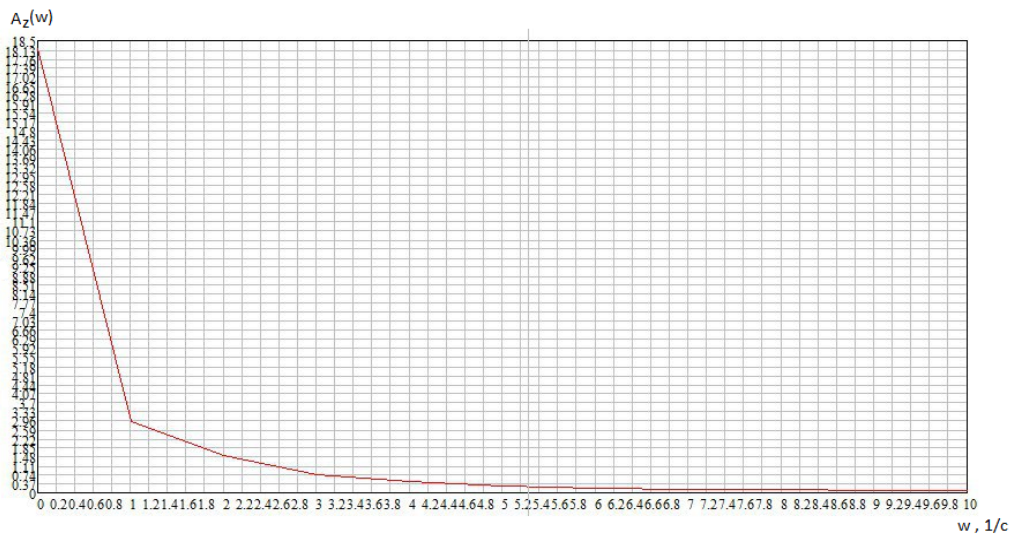


Рис.3.10. АЧХ системи по вісі Z

					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

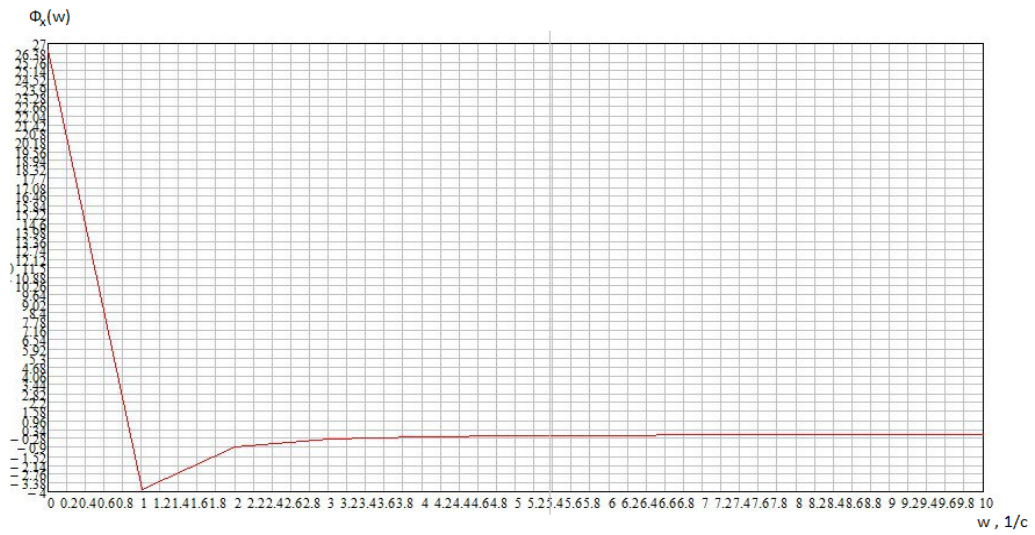


Рис.3.11. ФЧХ системи по вісі X

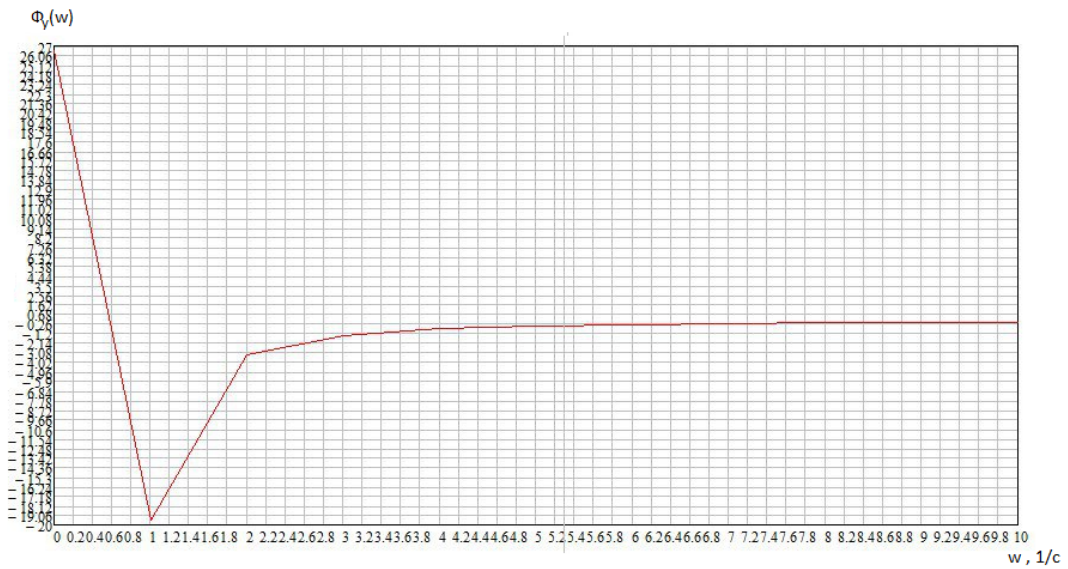


Рис.3.12. ФЧХ системи по вісі Y

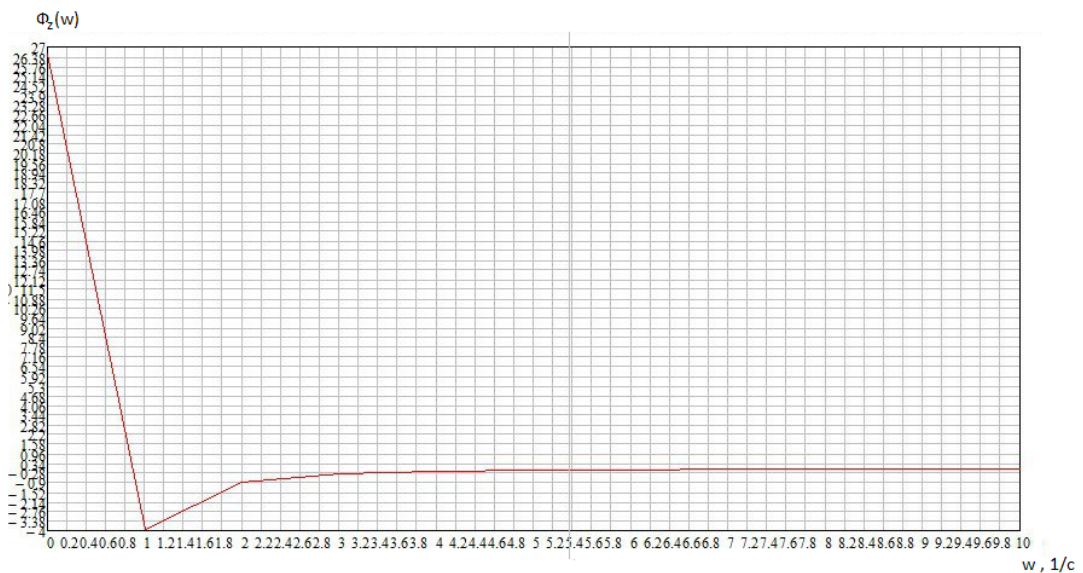


Рис.3.13. ФЧХ системи по вісі Z



### 3.9. Стійкість системи. Визначення стійкості за допомогою критерія

#### Гурвіца.

Для визначення стійкості системи скористаємося критерієм Гурвіца. Відповідно передаточним функціям (3.5-3.7), поліноми характеристичних рівнянь мають вигляд:

$$D_x(p) = 0.5729p^2 + 0.03415p + 0.06831; \quad (3.14)$$

$$D_y(p) = 0.1645p^2 + 0.03415p + 0.06831; \quad (3.15)$$

$$D_z(p) = 0.565p^2 + 0.03415p + 0.06831. \quad (3.16)$$

Запишемо 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 цим критерієм є додатність усіх визначників Гурвіца. Отже, для системи другого порядку необхідною і достатньою умовою стійкості буде додатність усіх коефіцієнтів характеристичного рівняння. Як видно з (3.14-3.16) ця умова цілком виконується.

### 3.10. Побудова логарифмічних частотних характеристик

Побудуємо ЛАЧХ та ЛФЧХ системи. ЛАЧХ визначається за виразом (3.18):

$$L(\Omega) = 20\lg(A(\Omega)), \quad (3.18)$$

де  $A(\Omega)$  – АЧХ системи.

ЛФЧХ визначається за виразом (3.19):

$$f(\Omega) = 20\lg(\Phi(\Omega)), \quad (3.19)$$

де  $\Phi(\Omega)$  – ФЧХ системи.

З виразів (3.9-3.11) отримаємо:

$$L_x(\Omega) = 20\lg\sqrt{\left[\frac{-0.07115\Omega^2 + 0.0848}{(-0.05729\Omega^2 + 0.06831)^2 + (0.03415\Omega)^2}\right]^2 + \left[\frac{0.04235\Omega}{(-0.05729\Omega^2 + 0.06831)^2 + (0.03415\Omega)^2}\right]^2}; \quad (3.20)$$

$$f_x(\Omega) = 20\lg\left(\arctg\left(\frac{0.04235\Omega}{-0.07115\Omega^2 + 0.0848}\right)\right); \quad (3.21)$$

$$L_y(\Omega) = 20\lg\sqrt{\left[\frac{-0.0204\Omega^2 + 0.0848}{(-0.01645\Omega^2 + 0.06831)^2 + (0.03415\Omega)^2}\right]^2 + \left[\frac{0.04235\Omega}{(-0.01645\Omega^2 + 0.06831)^2 + (0.03415\Omega)^2}\right]^2}; \quad (3.22)$$

$$f_y(\Omega) = 20\lg\left(\arctg\left(\frac{0.04235\Omega}{-0.0204\Omega^2 + 0.0848}\right)\right); \quad (3.23)$$

					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

$$L_z(\Omega) = 20\lg\sqrt{\left[\frac{-0.0702\Omega^2+0.0848}{(-0.0565\Omega^2+0.06831)^2+(0.03415\Omega)^2}\right]^2 + \left[\frac{0.04235\Omega}{(-0.0565\Omega^2+0.06831)^2+(0.03415\Omega)^2}\right]^2}; \quad (3.23)$$

$$f_z(\Omega) = 20\lg\left(\arctg\left(\frac{0.04235\Omega}{-0.702\Omega^2+0.0848}\right)\right). \quad (3.24)$$

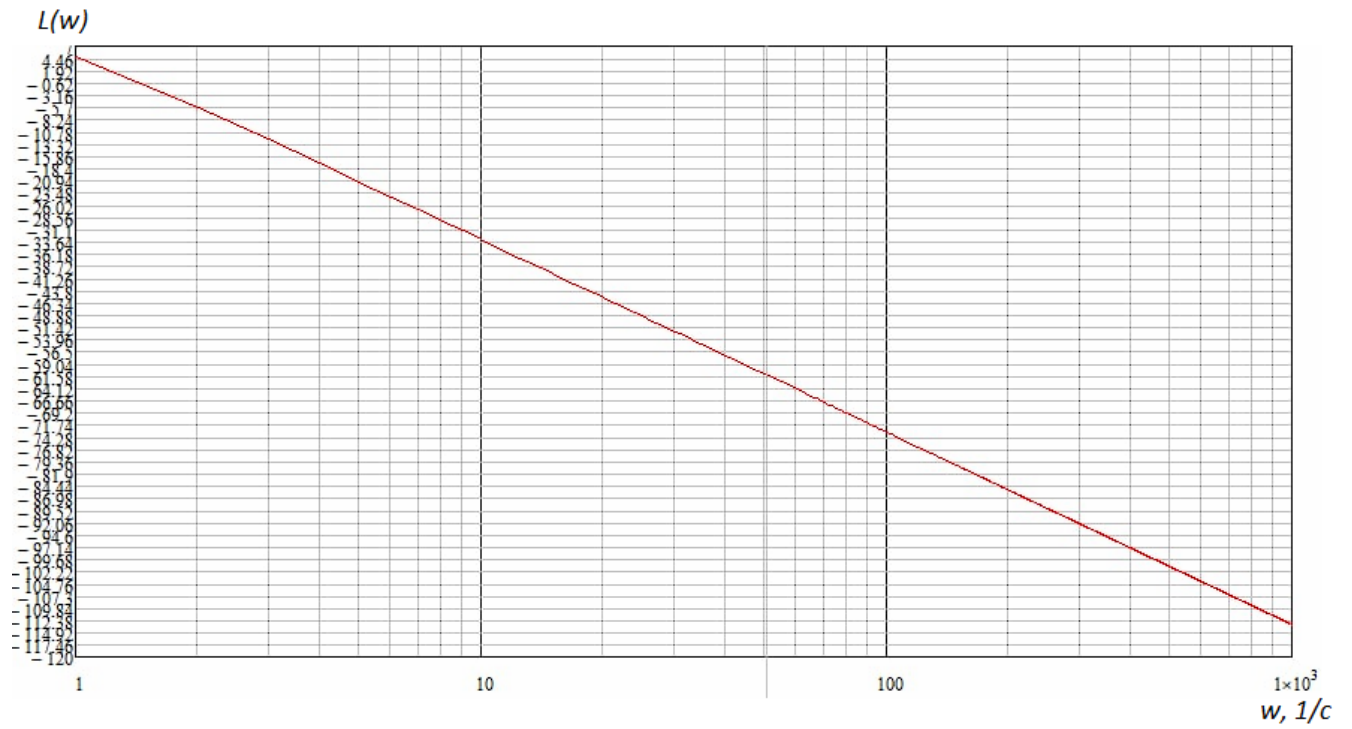


Рис.3.14.ЛАХЧ системи по вісі X

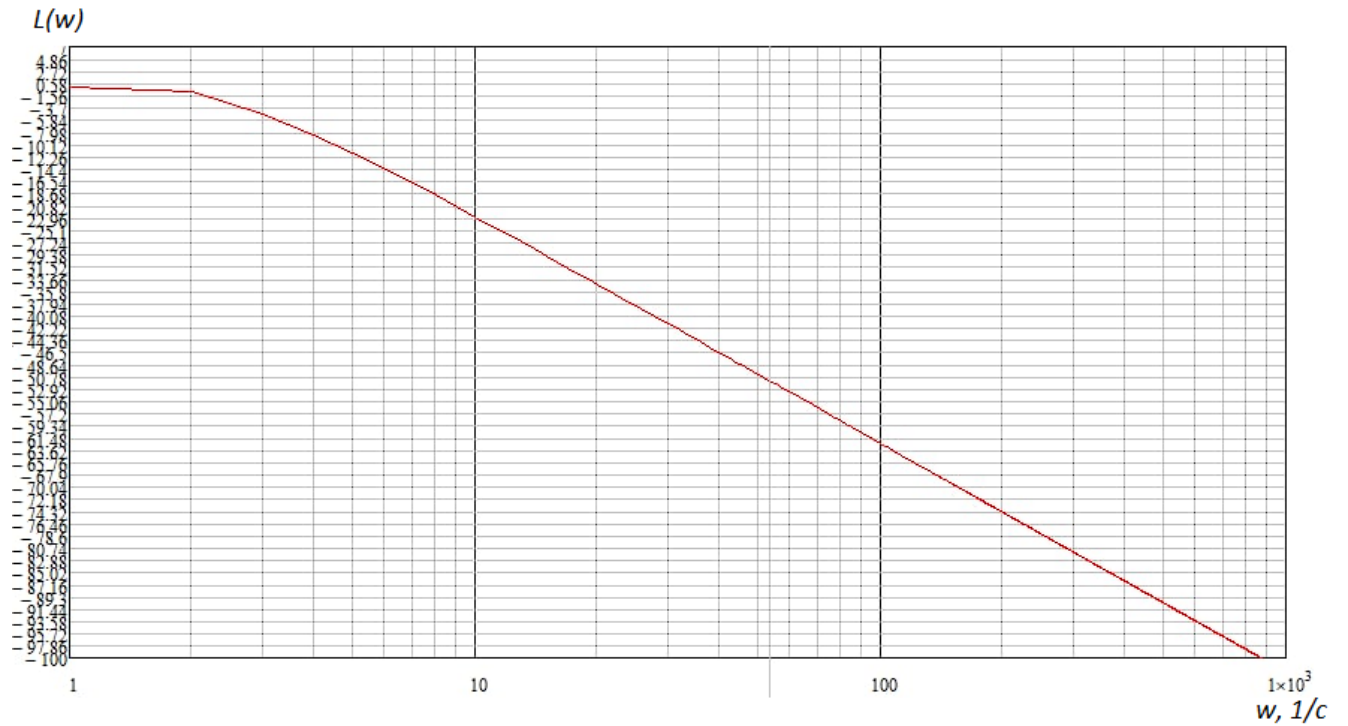


Рис.3.15.ЛАХЧ системи по вісі Y

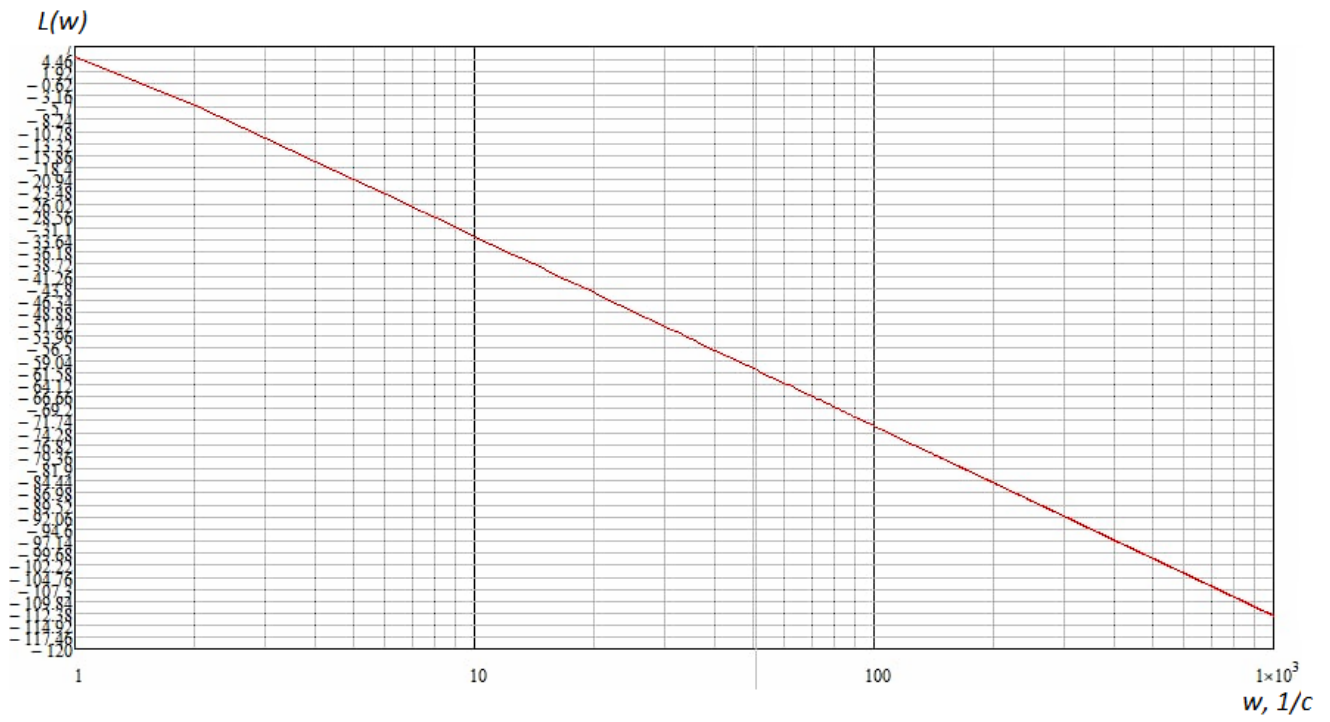


Рис.3.16. ЛАХЧ системи по вісі Z

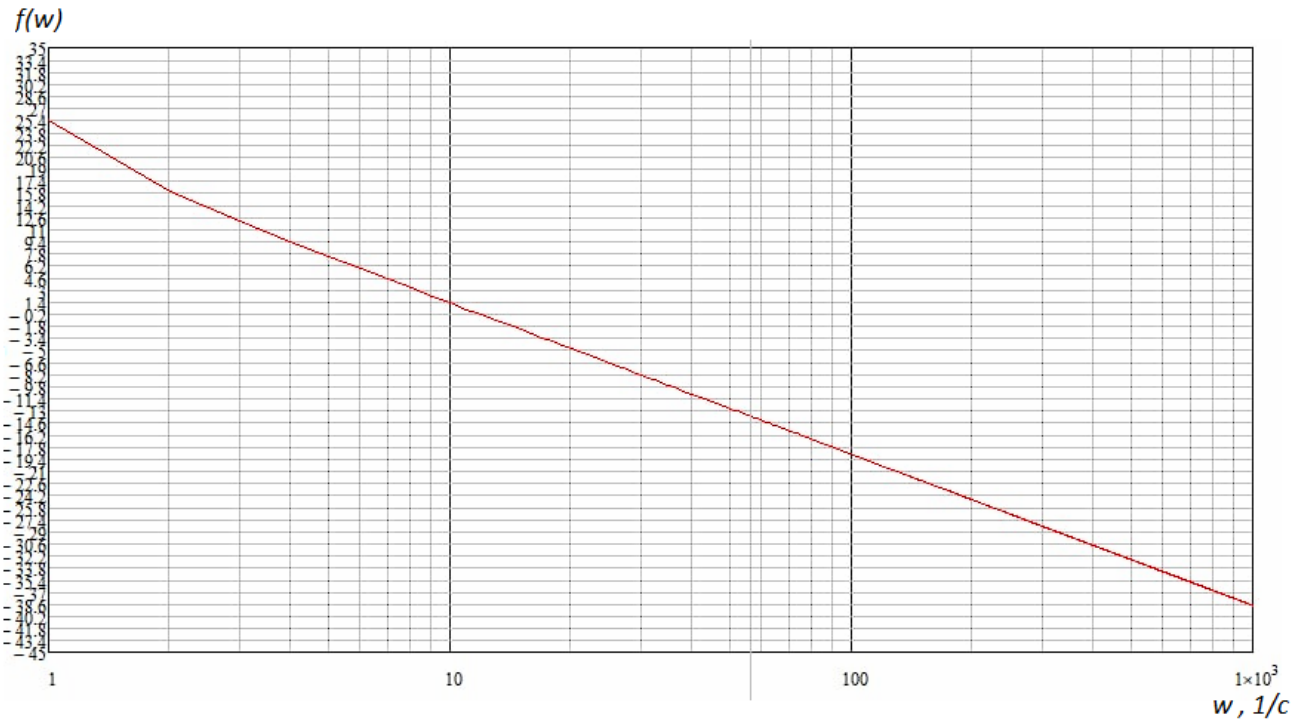


Рис.3.17. ЛФЧХ системи по вісі X

					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

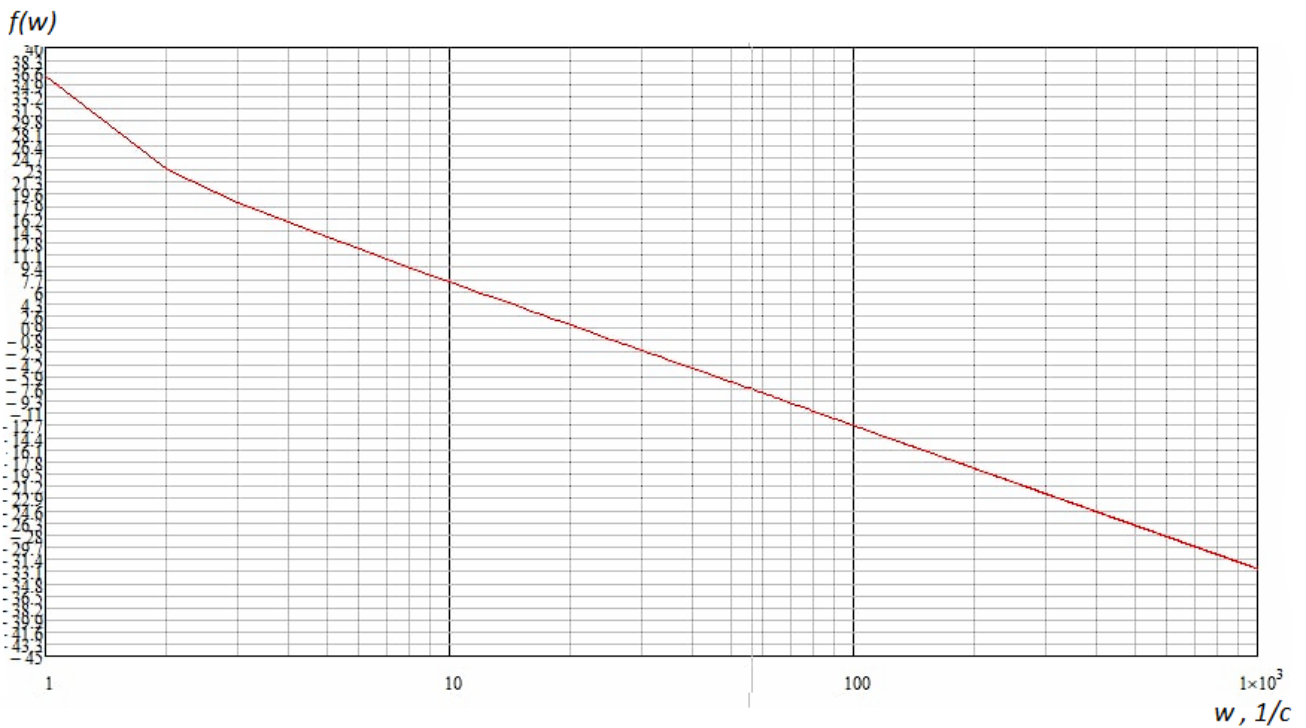


Рис.3.18. ЛФЧХ системи по вісі Y

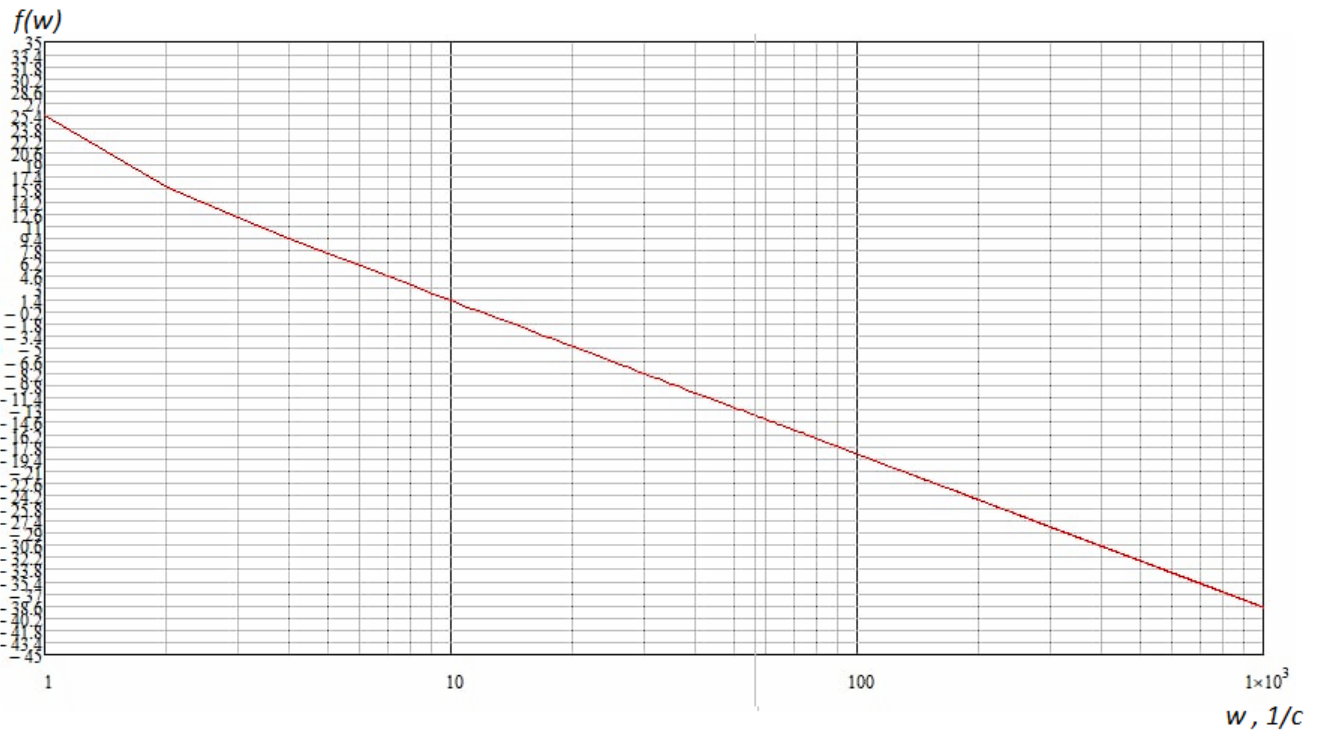


Рис.3.19. ЛФЧХ системи по вісі Z

### 3.11. Дослідження впливу конструктивних параметрів на швидкодію приладу і характер перехідного процесу

З (3.5-3.7) видно, що на величину часу перехідного процесу впливають конструктивні параметри, а саме: момент інерції, чутливість датчика кута, коефіцієнт посилення підсилювача, чутливість двигуна стабілізації та передаточне

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

число його редуктора. Для подальшого покращення часу перехідного процесу необхідно дослідити вплив деяких з вищевказаних параметрів на величину часу перехідного процесу. Для дослідження оберемо такі параметри: момент інерції, чутливість датчика кута, чутливість двигуна стабілізації.

В таблиці 3.4 зазначений набір значень конструктивних параметрів, за допомогою яких буде проводитися дослідження. Для кожного з них побудуємо перехідну характеристику та розрахуємо час перехідного процесу, залишаючи інші параметри без змін. Момент інерції задамо риним моменту інерції по вісі X. Динамічну похибку визначимо 1%.

Таблиця 3.5 – 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, В/°	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 (3.4) та (3.8) , побуємо перехідний процес для кожного випадку. Побудова характеристик проводилася у програмному пакеті Matlab.

1) Змінюється момент інерції (від найменшого значення до найбільшого), інші параметри без змін:

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

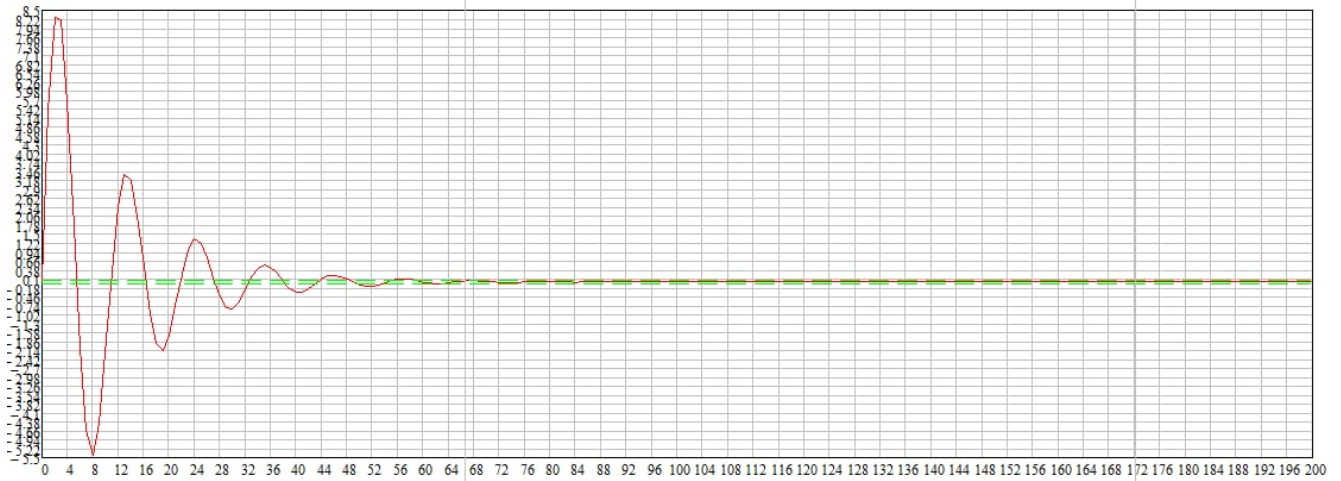


Рис.3.20.Графік перехідного процесу  $h_{11}$

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

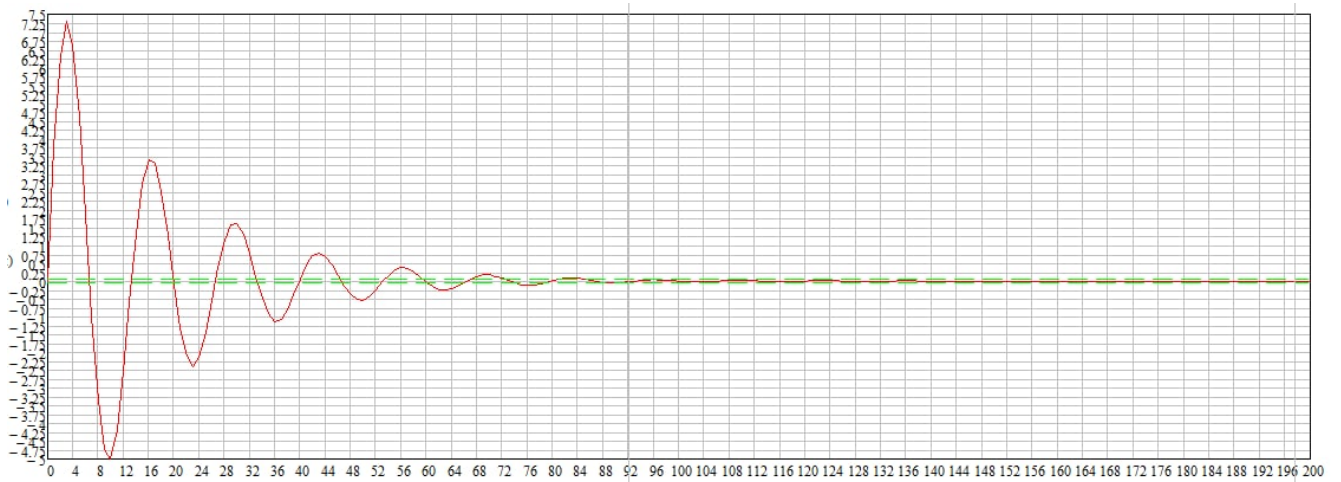


Рис.3.21.Графік перехідного процесу  $h_{12}$

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

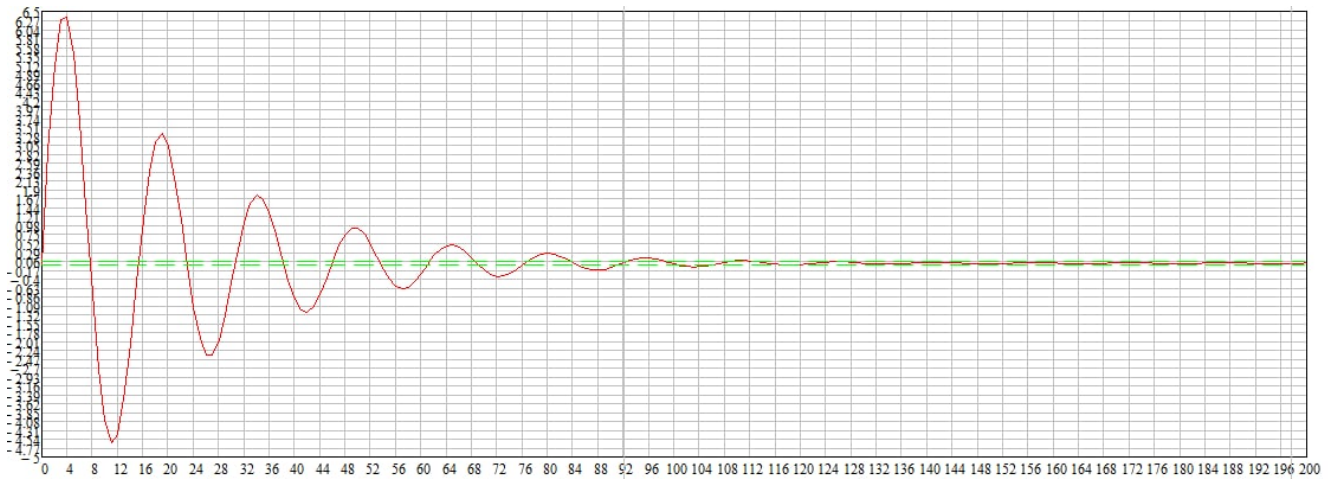


Рис.3.22.Графік перехідного процесу  $h_{13}$

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





Рис.3.23.Графік перехідного процесу  $h_{14}$

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

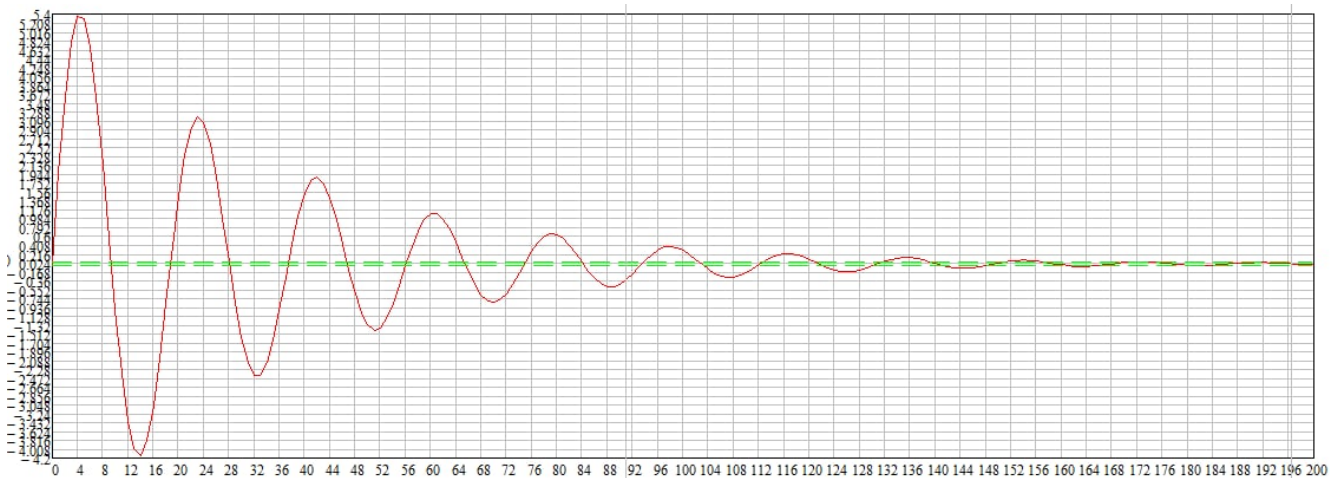


Рис.3.24.Графік перехідного процесу  $h_{15}$

Проаналізувавши вищезазначені графіки рис.3.20-3.24, можна помітити, що момент інерції має досить великий вплив на швидкодію системи, а також на періодичність та амплітуду коливань. При збільшенні моменту інерції – час перехідного процесу зменшується.

2)Змінюється чутливість датчика кута (від найменшого значення до найбільшого), інші параметри без змін:

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

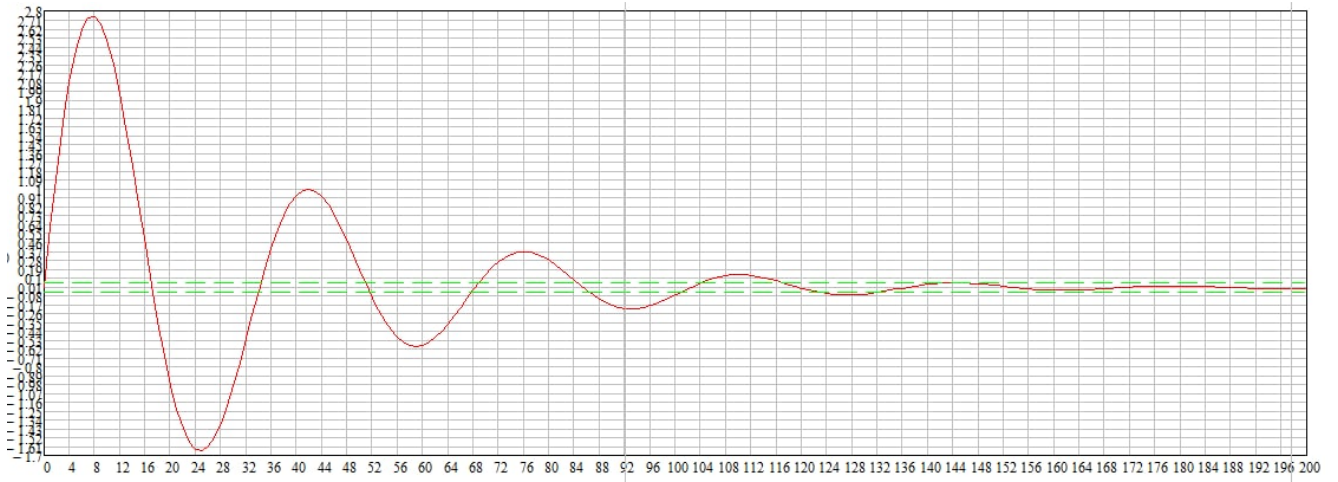


Рис.3.25.Графік перехідного процесу  $h_{21}$

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

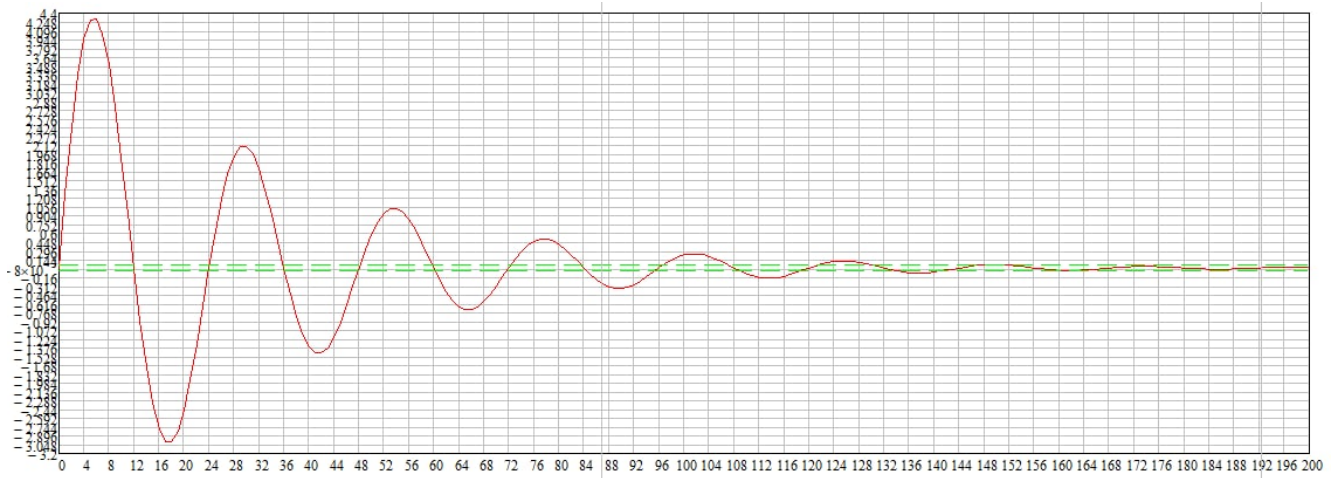


Рис.3.26.Графік перехідного процесу  $h_{22}$

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

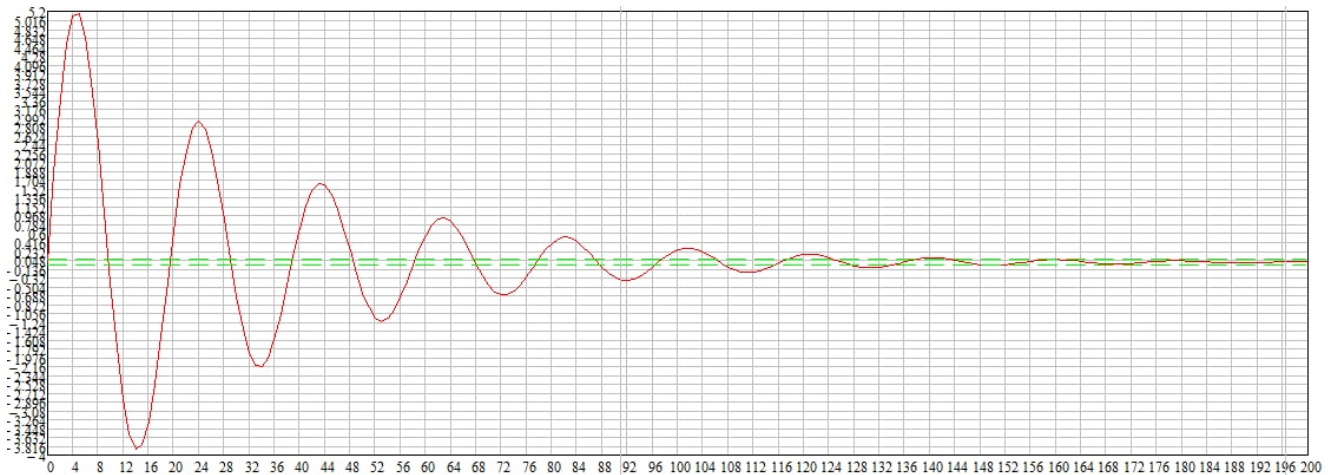


Рис.3.27.Графік перехідного процесу  $h_{23}$

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



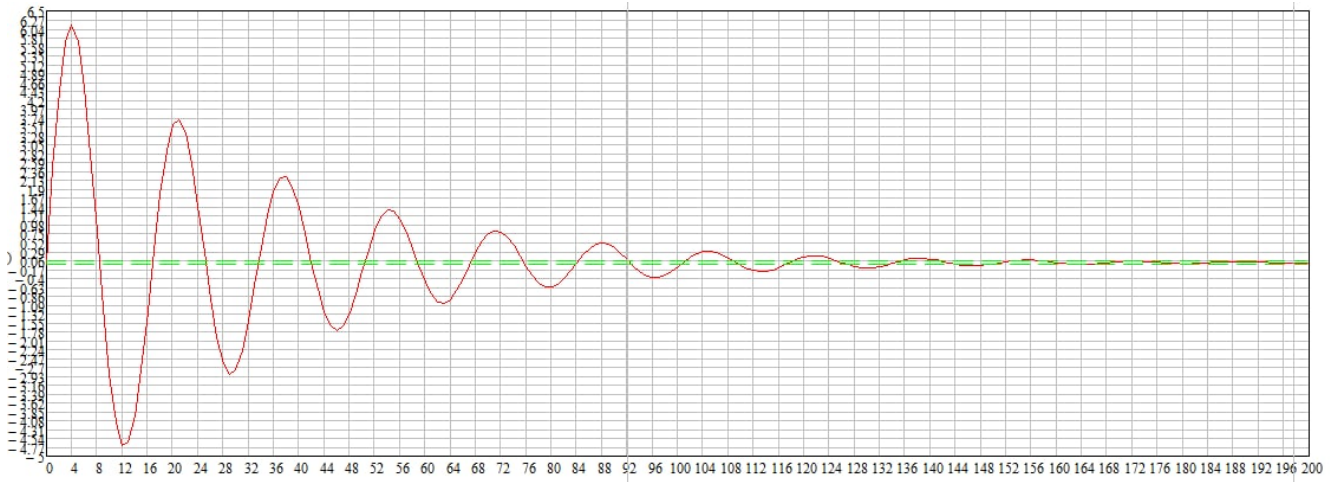


Рис.3.28.Графік перехідного процесу  $h_{24}$

$$h_{25}(t) = L^{-1} \left( \frac{1.86}{0.05729p^2 + 0.03415p + 0.102} \right) = -3.85j e^{(-0.0297 - 0.420j)t} (e^{(0.841j)t} - 1)$$

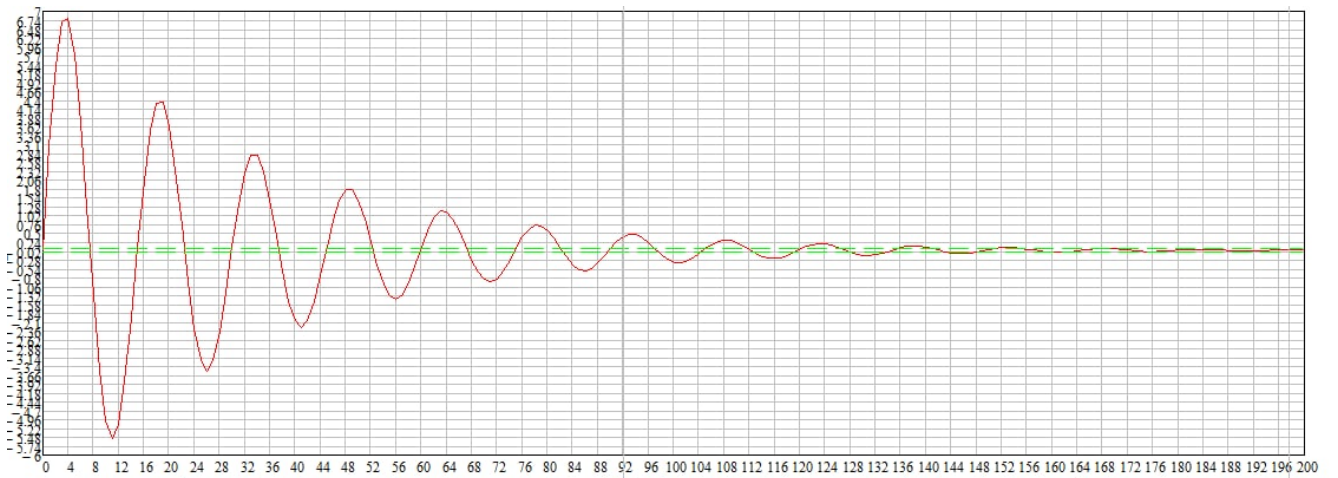


Рис.3.29.Графік перехідного процесу  $h_{25}$

Проаналізувавши вищезазначені графіки рис.3.25-3.29, можна зробити висновок, що збільшення чутливості датчика кута може призвести як до підвищення швидкодії приладу, так і до її зменшення.

3) Змінюється чутливість двигуну стабілізації (від найменшого значення до найбільшого), інші параметри без змін :

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

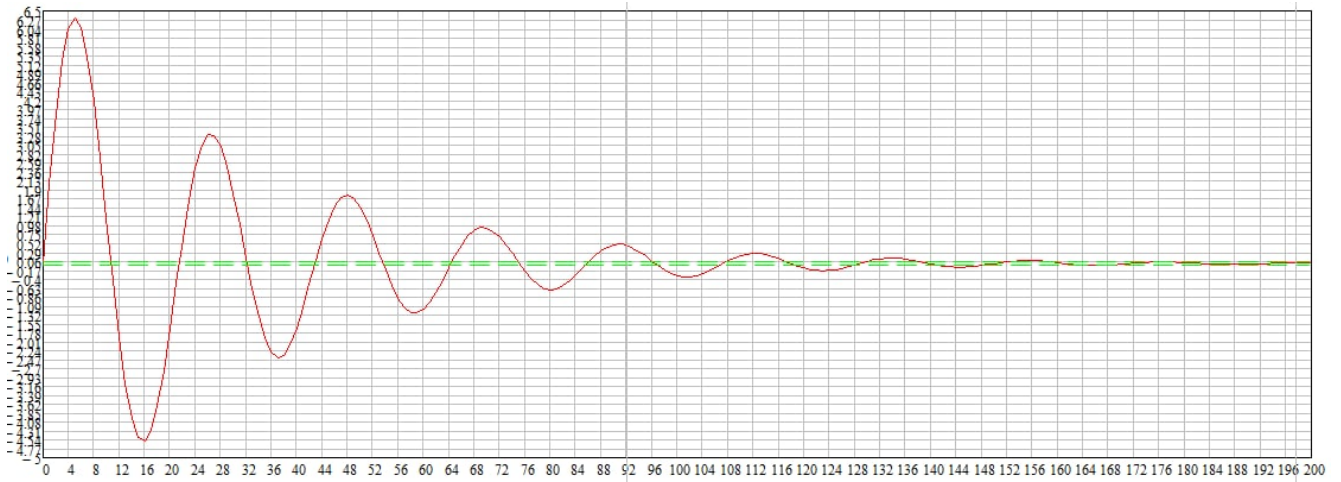


Рис.3.30.Графік перехідного процесу  $h_{31}$

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

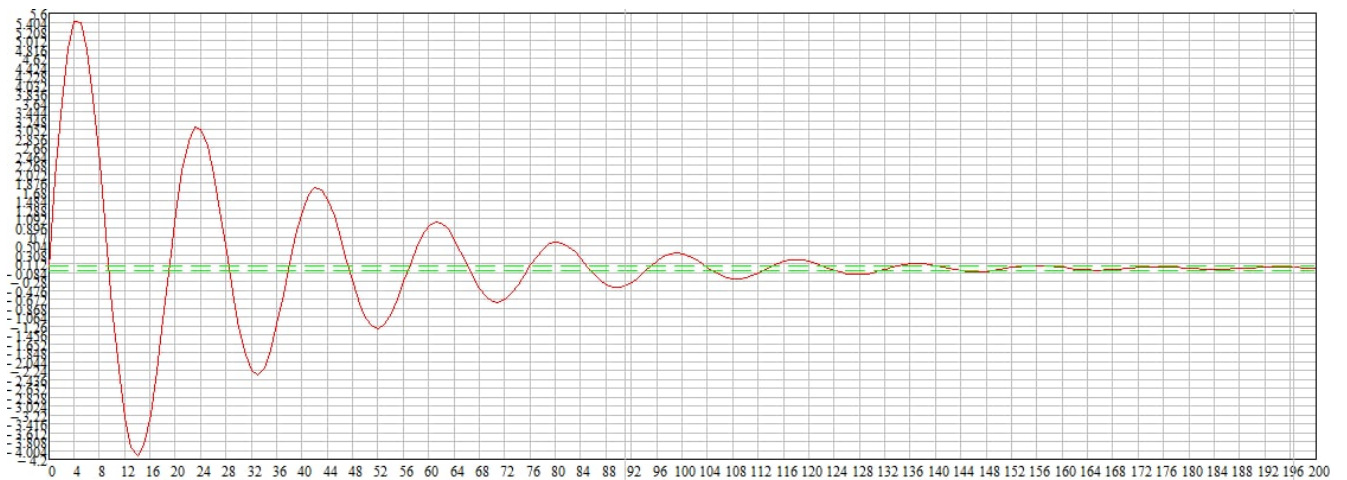


Рис.3.31.Графік перехідного процесу  $h_{32}$

$$h_{33}(t) = L^{-1} \left( \frac{1.242}{0.05729p^2 + 0.03415p + 0.074} \right) = -3.0262je^{(-0.0298 - 0.358j)t} (e^{(0.716j)t} - 1);$$

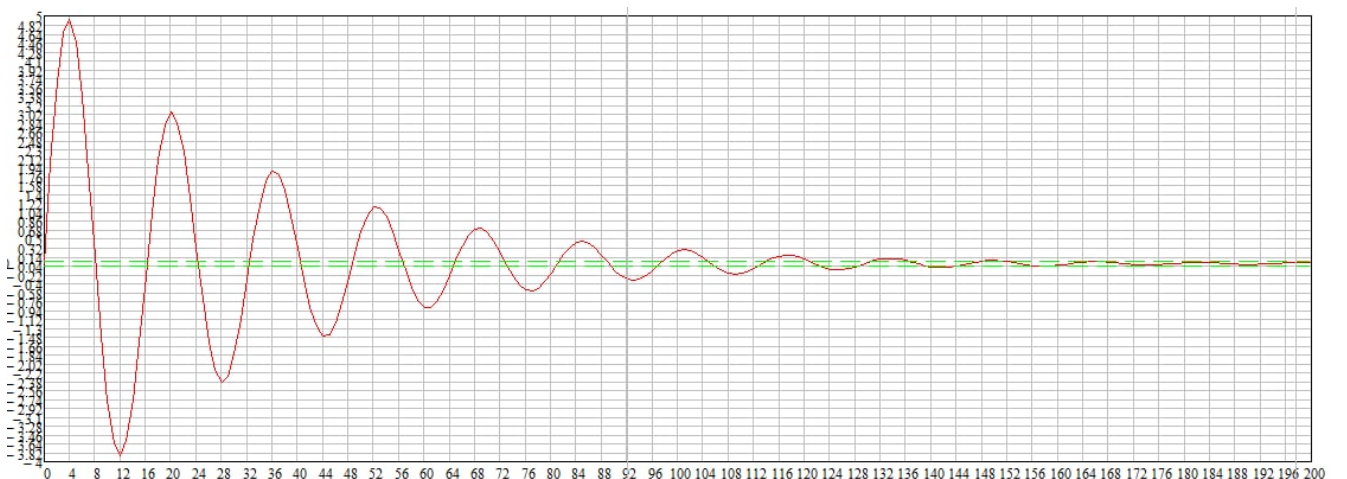


Рис.3.32.Графік перехідного процесу  $h_{33}$

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

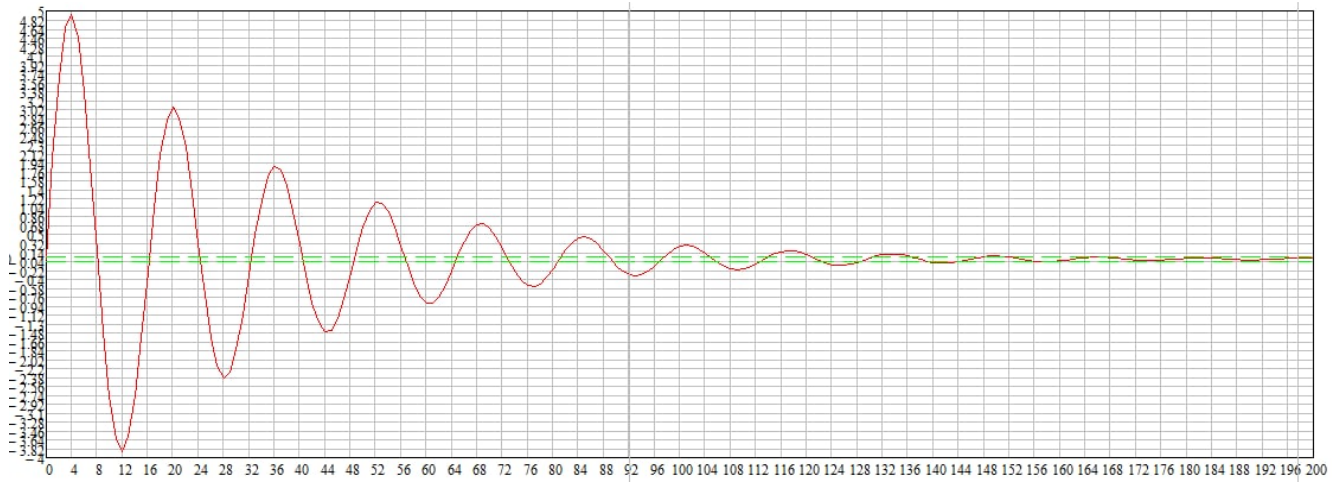


Рис.3.33.Графік перехідного процесу  $h_{34}$

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

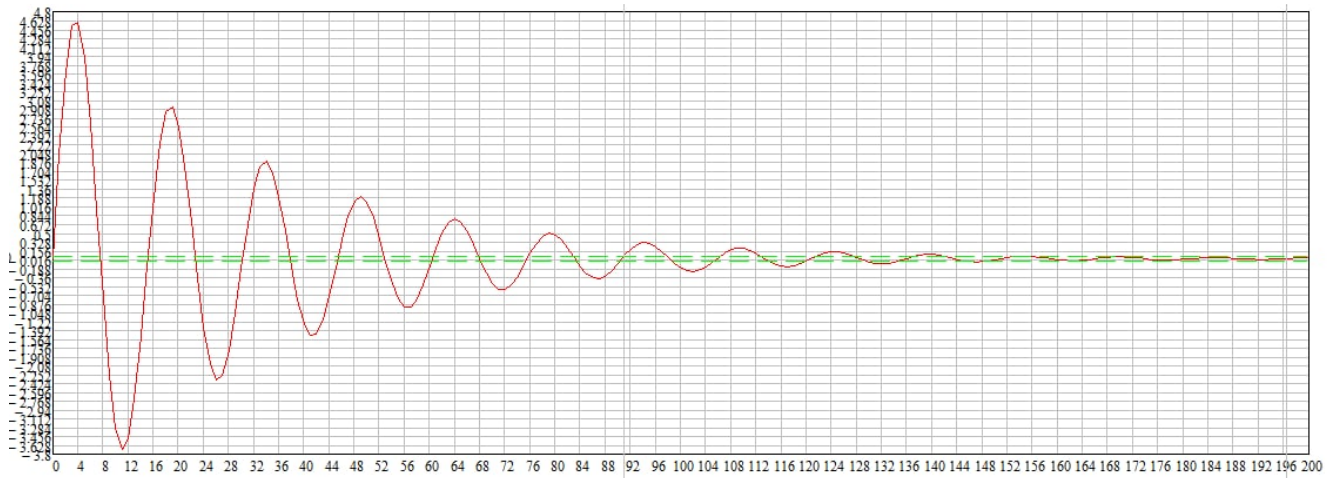


Рис.3.34.Графік перехідного процесу  $h_{35}$

Проаналізувавши вищезазначені графіки рис.3.29-3.34, можна зробити висновок, що збільшення чутливості двигуна стабілізації позитивно впливає на швидкодії приладу.

Результати наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Результати

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 3.6, побудуємо графіки залежності часу перехідного процесу від конструктивних параметрів.

$T_{пп}, c$

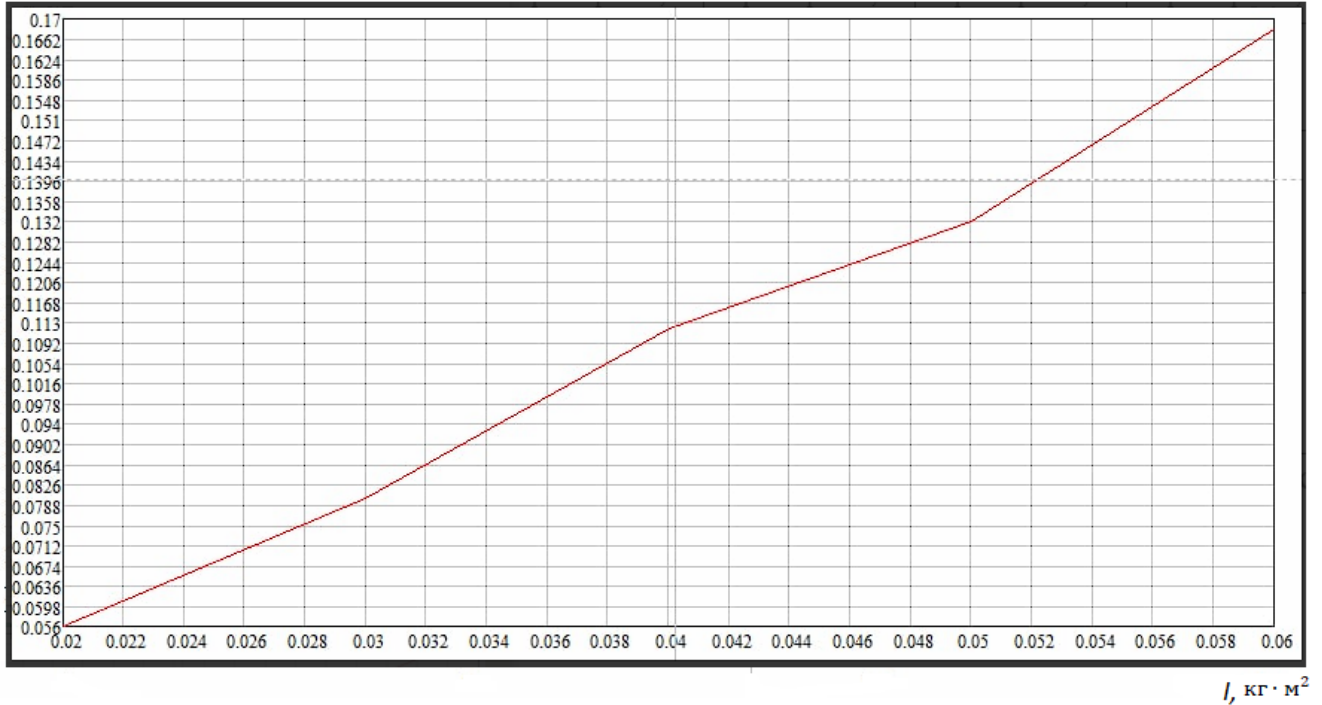


Рис.3.35.Залежність часу перехідного процесу від моменту інерції

$T_{пп}, c$

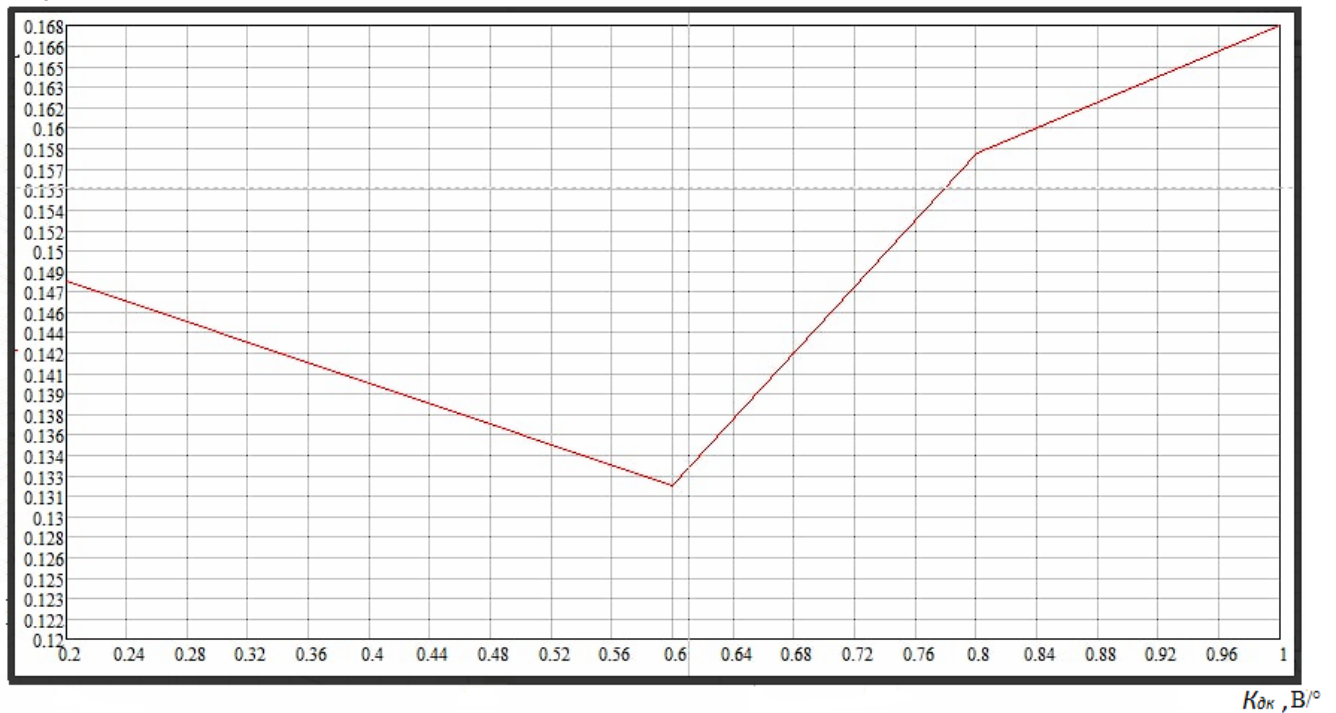
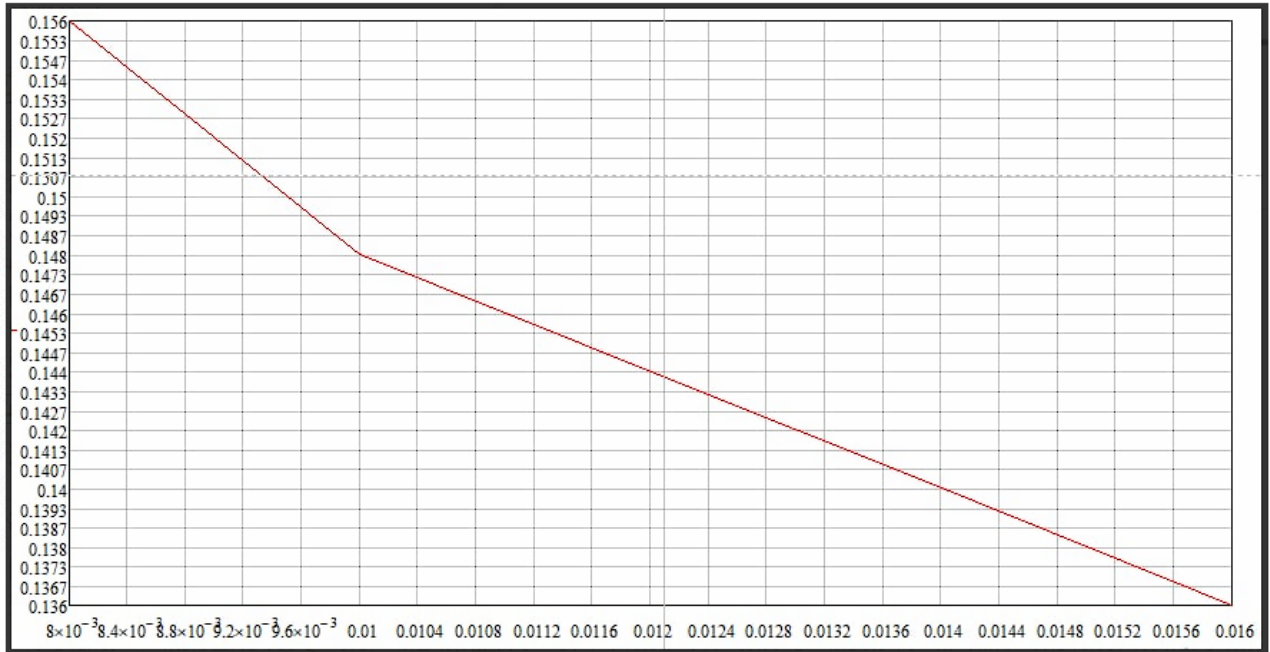


Рис.3.36.Залежність часу перехідного процесу від чутливості датчика кута



*T<sub>пп</sub>, с*



Кдс , Н·м/мА

Рис.3.37.Залежність часу перехідного процесу від чутливості двигуну стабілізації

### 3.12. Висновки по конструкторському розділу

В конструкторському розділі проведено проектування системи стабілізації для камери при зйомці з рук. Розглянуто існуючі аналоги від різних компаній-виробників. Було розроблено структурну схему приладу та обрано необхідні конструктивні елементи, на основі огляду декількох варіантів. Розраховано та побудовано ряд характеристик : перехідний процес, амплітудно-частотну характеристику, фазо-частотну характеристику, логарифмічну фазо-частотна характеристика та логарифмічну амплітудно-частотну характеристику . Систему перевірено на стійкість.

Також у конструкторському розділі проведено дослідження впливу конструктивних параметрів на швидкодії системи, для подальшого вдосконалення та модернізації.

### 4.РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «СИСТЕМА СТАБІЛІЗАЦІЇ КАМЕРИ ПРИ ЗЙОМКАХ З РУК»

Оскільки зростають вимоги до якості фото- та відеозаписів, сфера використання фото- та відеокамер з кожним роком продовжує зростати: охоронні та реєструючі системи, професійні фотоапарати та аматорські камери, камери у телефонах тощо. Телебачення і кіно широко застосовуються у наукових,

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

навчальних, інформаційних і розважальних цілях. Зйомки часто ведуться з наземних, літальних, надводних і підводних рухомих об'єктів. У таких умовах зйомки оптичні прилади часто схильні до хитання або вібрації рухомої основи, на якій вони встановлені. Для отримання якісних відеозаписів та фотографій прилад необхідно стабілізувати для нівелювання цих вібрацій.

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

В даному розділі здійснено маркетинговий аналіз його проекту для визначення конкурентної здатності даної системи на ринку та можливих напрямків її реалізації.

Аналіз в даному розділі проведено на основі матеріалу, викладеного в [15].

#### 4.1. Опис ідеї та технологічний аудит проекту

Оскільки на сьогодні існує потреба у якісній системі стабілізації камери, в якості ідеї стартап-проекту було обрано систему активну стабілізації для камери при зйомках з рук.

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

В таблиці 2.1. представлено зміст ідеї, можливі напрямки застосування та основні вигоди, які може отримати користувач від даного продукту. [15]

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка системи стабілізації камери при зйомках з рук	Телеіндустрія, кінематограф, професійні та аматорські зйомки на камеру тощо.	1. Невисока вартість. 2. Достатня точність та швидкодія. 3. Високий рівень стабілізації. 4. Надійна та безперебійна робота приладу в умовах сильної тряски та вібрацій. 5. Вихід з ладу приводу стабілізації або розрив ланцюга зворотного зв'язку

		не впливає на стабілізацію (система буде працювати як датчик положення)
--	--	---

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.

Наступним кроком буде проведення аналізу потенційних техніко-економічних переваг ідеї, відмінності від існуючих аналогів, порівняно із пропозиціями конкурентів. [15]

Визначимо:

- Перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- Попереднє коло конкурентів або товарів-замінників чи аналогів, що існують на ринку;
- Порівняльний аналіз показників. [15]

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Мій проект	Товари, концепції конкурентів	
		Активна система стабілізації камери	Пасивна система стабілізації камери	Стационарна стабілізована платформа
1	Точність	Висока	Низька	Висока
2	Простота процесу калібрування	Середня	Висока	Висока
3	Вартість виконання	Низька	Низька	Висока
4	Універсальність компонентів	Середня	Висока	Низька

Проаналізувавши таблицю 4.2, можна зробити висновок, що пристрій, розроблений у магістрській дисертації має вагомі переваги перед потенційними продуктами конкурентів [15].

Технологічний аудит - операція об'єктивної оцінки потенціалу інновації як об'єкта комерціалізації. Через те, що комерціалізація технології - тривалий і дорогий процес, те, перш ніж витратити чималі фінансові ресурси, необхідно оцінити реальність продажу ідеї або винаходи або їхнє успішне перетворення в ринковий продукт. Таку оцінку можуть провести як самі автори, так і автори із залученням сторонніх експертів.

Технологічний аудит є дослідницьким інструментом, призначеним для аналізу технологій, що передбачає певний комплекс заходів, який реалізується в часі у вигляді послідовного процесу. Водночас він є функцією управління, оскільки вимагає прийняття рішень щодо планування, реалізації та використання результатів аудиту в діяльності підприємства. Комплексність і складність самого явища і спонукають до збільшення кількості визначень, що вивітлюють явище із різних боків.

Проведення аудиту із залученням сторонніх експертів переважніше, тому що, хоча експерт і не знає досконально пропонований винахід (в оцінці технічної сторони інновації експертам допоможуть автори), але може неупереджено порівнювати його з аналогами, знаходити можливості різних практичних застосувань, оцінювати вартість його комерціалізації й ринкові перспективи. При проведенні незалежного аудиту між авторами й експертами повинне укладатися договір про конфіденційність.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових:

- за якою технологією буде реалізовано товар згідно ідеї проекту?
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/доробити?
- чи доступні такі технології авторам проекту?

Аналіз складових здійсненності ідеї проекту представлено в таблиці 4.3. [15]

					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
						89
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технологія реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Активна система стабілізації камери	Використання датчиків положення на основі електронного гіроскопу	Наявна	Доступна
		Використання датчиків положення на основі п'єзокерамічного гіроскопу	Наявна	Доступна

Проаналізувавши таблицю 4.3, можна зробити висновок, що технології, необхідні для реалізації такого проекту, є досить доступними.

За результати огляду даних технологій, було обрано технологію ідеї проекту - обрано використання датчиків положення на основі електронного гіроскопу у зв'язку з більшою доступністю та нижчою вартістю. Потрібна технологія присутня на ринку і її не потрібно розробляти.

#### 4.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В даному підрозділі проведено аналіз ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту та ринкових загроз, що можуть перешкоджати реалізації проекту.

Ринкові можливості – це сприятливі умови і обставини, які обумовлюють досягнення підприємствами ринкового успіху. Зворотньою стороною ринкових можливостей є ринкові загрози. Вони навпаки заважають підприємствам розвиватися і отримувати бажані ринкові результати. Будь-яке підприємство і, зокрема, будь-який стартап-проект для свого розвитку потребує своєчасного прийняття обґрунтованих стратегічних орієнтирів, цілей та визначення оптимальних шляхів їх досягнення. Все це стає можливим за умови уважного моніторингу маркетингового середовища та своєчасного виявлення маркетингових можливостей та маркетингових загроз.

Ринкові можливості та загрози діють на всі підприємства та проекти присутні на відповідному ринку, а маркетингові можливості та загрози діють лише для відповідного підприємства та/або проекту, оскільки утворюються під впливом

					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

комбінації унікальних чинників. Маркетингові можливості та загрози стартап-проекту знаходяться на перетині множин цілей проекту, ресурсів проекту, ринкових можливостей та загроз стартап-проекту.

Для реалізації проекту та просування його на ринок споживачів необхідно виявити ринкові можливості та загрози, які можуть негативно вплинути на процес впровадження.

Дослідження системного ринку дозволяє вивчити поведінку споживачів, проаналізувати можливості, що відкриваються для компанії (вийти на міжнародний ринок, розширити сферу послуг, рекламні акції ітощо), вивчити окремі товари та послуги, характеристики та перспективи конкурентів (сильні та слабкі сторони), динаміки цін на товар тощо.

Аналіз дозволить спланувати напрямки розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів конкурентів.

Проведений аналіз попиту представлено в таблиці 4.4. [15]

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показник стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців	1
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	40000
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Існують
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відповідність міжнародним стандартам
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	62%

Хоча конкурентів багато, а ринок цього продукту досить вузький, середня норма прибутковості в галузі вища за інвестиційну процентну ставку банку. Це дозволяє зробити висновок, що розроблена система є досить конкурентоспроможною.

Розглянувши таблицю 4.4, можна зробити висновки, що ринок має зростаючу динаміку та досить великий попит. Оскільки конкуренція досить велика, а ринок цього продукту досить вузький, середня норма прибутковості в галузі вища за інвестиційну процентну ставку банку.

Це дозволяє зробити висновок, що розроблена система є досить завдяки покращенню якості продукту та підвищенню показників технічних та метрологічних характеристик, – проект має можливість стати конкурентоспроможним.

Наступним кроком буде визначення потенційних груп клієнтів, їх характеристик та формування переліку вимог до товару для кожної групи (таблиця 4.5). [15]

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартам-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних клієнтів	Вимога споживача до товару
1	Якісна система стабілізації для камери	Телеіндустрія, кінематограф, підприємства та компанії, діяльність яких пов'язана із зйомками на камеру.	Немає.	Низька вартість, висока точність та швидкодія, високий рівень стабілізації, надійна та безперебійна робота приладу, простота експлуатації та калібрування.

Отже, можна зробити висновок, що потенційною цільовою аудиторією стануть підприємства та компанії, діяльність яких тісно пов'язана із зйомками на камеру, а саме: кінокомпанії, телестудії, фотосалони тощо.

Визначивши потенційні групи клієнтів, зробимо аналіз ринкового середовища (табл. 4.6 та табл. 4.7).

Визначимо фактори, що загрожують реалізації проектного ринку, та фактори, що забезпечують можливості для подальшого розвитку проекту. Основні фактори загроз перелічені в таблиці 4.6. [15]

Таблиця 4.6 – Фактори загрози

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Поява аналогів на ринку	Вдосконалення свого продукту та дослідження продукту конкурента.
2	Відсутність попиту	Не бажання компанії переходити на новий продукт.	Презентації, реклама, ділові переговори та конференції у яких надавати інформацію про переваги приладу.

3	Технічний	Ймовірність ненадійної або позаштатної роботи приладу, вининення збоїв.	Дослідження причин появи збоїв або позаштатної роботи приладу. Вдосконалення технічних та метрологічних характеристик продукту.
---	-----------	---	---

Оскільки одним з основних компонентів системи є датчики, двигуни, модулі, плати, дроти тощо, їх якість сильно впливає на надійність системи в цілому, тому одним з основних факторів загрози є ймовірність ненадійної або позаштатної роботи приладу, вининення збоїв, у результаті неналежної якості елементів системи або браку. Тому є потреба у надійному постачальнику даного обладнання. Крім того, ціна обладнання постачальника повинна бути прийнятною, щоб зробити базову ціну системи конкурентоспроможною.

Також вагомим фактором загрози є конкуренція компаній-виробників аналогічних систем. Одним з рішень цієї проблеми може стати дослідження продукту конкурента та вдосконалення свого продукту.

Ще одним фактором загрози є відсутність попиту на ринку, можлива реакція компанії – просування продукту на ринок, презентації, реклама, ділові переговори та конференції у яких надавати інформацію про переваги приладу.

В таблиці 4.7 визначено фактори можливостей, що впливають на продукти при вході на ринок.[15]

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Науково-технічні	Винекнення нової технології виготовлення продукту	Впровадження цієї технології виготовлення продукту
2	Економічні	Підтримка інноваційного підприємства	Підвищення/зниження вартості товару
3	Попит	Високий темп зростання ринку	Збільшення продажів компанії

В таблиці 4.6 та 4.7 наведено перелік ринкових загроз та ринкових можливостей, здійснений на основі факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища.

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками впливу факторів і на відміну від них, ще не реалізовані на ринку та мають певну ймовірність здійснення. [15]

Якщо система виявиться успішною на українському та міжнародному ринках, це не лише збільшить попит, а і нових інвесторів, що дозволить майбутнім дослідженням покращити продукт зробити його більш інноваційним.

Далі проводимо аналіз пропозиції (табл. 4.8), визначивши загальні риси конкуренції на ринку. [15]

Таблиця 4.8 – Структурний аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища.	В чому проявляється дана характеристика.	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможним).
1.Олігополія	В даній галузі домінує певна компанія і вона займає значну долю ринку.	Створення продукції із покращеними технічними та метрологічними характеристиками
2.Національний	Домінуюча компанія покривають велику територію СНГ.	Реклама товару.
3.Внутрішньогалузева	Продукція виготовлена фірмами конкурентами є устарівшою.	Спроби розширення клієнтського ринку та впровадження продукту в нові галузі застосування.
4.Товарно-видова	Різноманітність товарів в залежності від потреб.	Вдосконалення продукту.
5.Цінова	Використання ціни як засіб для збуту.	Розширення функціоналу продукту, покращення якості та тахнічних характеристик.
6.Марочна	Диференціація продукції підприємств, що дає змогу управляти рівнем доданої вартості.	Створення своєї власної фірми, товарного знаку.

Загальні характеристики ринкової конкуренції свідчать про те, що система є конкурентоспроможною на споживчому ринку. Для того, щоб забезпечити перевагу незалежно від інтенсивності конкуренції, необхідно сформулювати стратегію, ефективність якої не залежатиме від конкурентного середовища. При формуванні стратегії необхідно враховувати основні фактори, що впливають на інтенсивність конкуренції.

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

Після аналізу конкуренції проводимо більш детальний аналіз (табл. 4.9) умов конкуренції в галузі за М. Портером. [15]

Таблиця 4.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі в конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товарозаміники
	На даний момент є три основні компанії-конкуренти на ринку	Іноземні компанії, що можуть вийти на наш ринок.	Значення розміру поставок, диференціація витрат.	Обсяг замовлення.	Ціна, якість.
Висновки	Присутні	Присутні	Не диктують	Диктують	Невеликі

Згідно із аналізом галузевої конкуренції за М. Портером у таблиці 4.9, та з урахуванням характеристик концепції проекту та вимог споживачів продукту, можна зробити висновок, що проект не повинен поступатися конкуренції, та мати якісні, технічні та метрологічні характеристики на належному рівні.

Основними умовами боротьби з конкурентами є:

- визначення факторів конкурентоспроможності та їх значення;
- наукові методи та регулярне вдосконалення та оновлення компонентів системи;
- застосування сучасних методів досліджень та розробок;

За допомогою вищезазначеного аналізу ми визначили перелік конкурентних факторів, наведених у таблиці. 4.10

Проаналізувавши конкуренцію приведену в таблиці, а також із урахуванням ідеї проекту, вимоги споживачів до товару та фактори маркетингового середовища визначимо фактори конкурентоспроможності (табл. 4.10). [15]

Таблиця 4.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування чинників що роблять проекти конкурентоспроможними
1	Точність	Висока точність та швидкодія швидкодія.
2	Ціна	Ціна є нижчою ніж у конкурентів на ринку.
3	Швидкість калібровки	Середня.
4	Іноваційність	Система є іноваційною.

5	Технічні характеристики	Через використання якісних елементів, технічні характеристики на належному рівні
6	Якість матеріалів	Використовуються якісні матеріали на елементи ситеми (датчики, двигуни, плати, дроти тощо)

З метою підвищення довіри та збільшення рівня використання системи необхідно звертати увагу на такі конкурентні фактори, як рівень якості матеріалів, точність ситеми, швидкість калібровки, забезпечення надійності системи та її постійну діагностику, звертати увагу на зручність та простоту використання та робити її доступною для споживачів.

Наступним кроком буде проведення порівняльного аналізу сильних та слабких сторін проекту «Система стібілізації для камери для зйомок з рук » (табл. 4.11). [15]

Таблиця 4.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Точність	15					+		
2	Ціна	15			+				
3	Швидкість калібровки	12						+	
4	Іноваційність	20					+		
5	Технічні характеристики	15					+		
6	Якість матеріалів	18					+		

Основними перевагами та головними досягненнями системи є висока якість продукції, її іноваційність, високі технічні та метрологічні характеристики, а також найкраще співвідношення ціни та якості.

Порівняльний аналіз (табл. 4.11) сильних та слабких сторін показав, що основна перевага продукту серед конкурентів – ціна товару. [15]

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін таблиця 4.12 [15].

Таблиця 4.12 – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Нижча ніж у конкурентів ціна; Висока якість системи; Велика точність;	Слабкі сторони: Досить складний процес виготовлення та збірки. Складний процес калібрування.
--	--

Висока швидкодія; Іноваційність системи у порівнянні з конкурентами;	
Можливості: Отримання державних та приватних замовлень на закупівлю технології; Збільшення клієнтів за рахунок іноземних замовників; Постійна модернізація системи за рахунок загального технічного розвитку.	Загрози: Несвоєчасне виконання замовлення; Посилення конкуренції на ринку; Несприятлива державно-податкова політика; Відсутність надійних постачальників високоякісного обладнання;

Для того, щоб отримати позитивні умови для введення в експлуатацію системи або зменшити подальші наслідки, необхідно передбачити появу несприятливих умов, таких як конкуренція, нестабільність ринку тощо. Водночас необхідно покращувати репутацію за допомогою реклами, вдосконалення та використання інноваційних технологій.

На основі SWOT-аналізу розроблено варіанти поведінки ринку для просування стартового проекту на ринок користувачів та розглянуто потенційні проекти конкурентів, які можуть бути витіснені на ринок, щоб отримати найкращий час для реалізації ринку.

В таблиці 4.13 представлено альтернативну поведінку для виведення стартап-проекту на ринок за оптимальний час ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок [15]

Таблиця 4.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу.	Висока	8 місяців
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.	Висока	6 місяці

Проаналізувавши план впровадження ринку стартового проекту, ми можемо зробити висновок, що завдяки рекламі та розширенню ринку в інших країнах / регіонах найкращим варіантом є збільшення продажів системи, оскільки вони мають велику можливість залучення ресурсів та їх реалізації. Є багато хороших

					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97



варіантів, таких як пошук інвесторів та регулярні акції, або зниження ціни на комплектуючі чи всю систему вцілому, коли це можливо.

### 4.3. Розробка ринкової стратегії проекту

Сучасні умови функціонування вимагають від підприємств своєчасного і адекватного реагування на зміни внутрішнього і зовнішнього середовища, прийняття управлінських рішень в мінімально короткі терміни і підвищення ефективності використання всіх видів наявних ресурсів для збереження і підвищення їх конкурентних переваг. Це веде до розширення спектра завдань, що вирішуються його системою управління в ході досягнення поставлених цілей діяльності, а також до збільшення обсягів інформації та числа застосовуваних інструментів управління.

У зв'язку з цим особливу увагу необхідно приділяти стратегічному управлінню, в рамках якого визначаються перспективи і формується стратегія діяльності, що визначає напрямки розвитку підприємства.

До складу ринкової стратегії можна включити наступні елементи-стратегії:

- товарну стратегію;
- цінову стратегію;
- інвестиційну стратегію;
- стратегію взаємодії з іншими суб'єктами ринку;
- стратегію зниження виробничих витрат;
- інноваційну стратегію;
- стратегію охоплення ринку .

В розробці ринкової стратегії першим визначимо стратегію охоплення ринку: опис цільових груп потенційних іспоживачів, готовність людей купувати дану продукцію, оцінка конкуренції в даному сегменті. (табл. 4.14). [15]

Таблиця 4.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів прийняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
1	Державні підприємства	Готові	Середній	Середня	Складна
2	Приватні підприємства	Готові	Низький	Велика	Складна

					<i>МД ПМ-01 мп. 000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

3	Іноземні підприємства	Готові	Великий	Середня	Складна
---	-----------------------	--------	---------	---------	---------

Провівши аналіз потенційних груп споживачів було обрано: державні та іноземні підприємства, для яких буде запропонована дана система стабілізації. За стратегією охоплення ринку, було обрано стратегію диференціації та науково-технічного поступу, оскільки система потребує нових технологій та вдосконалення вже існуючих.

Інтенсивність конкуренції в даному сегменті є достатньо високою, але якщо прорахувати всі загрози, та недоліки систем конкурентів, можна стати одним з іпровідних виробників на ринку споживачів.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформуванати базову стратегію розвитку (табл. 4.15) та стратегію конкурентної поведінки (табл. 4.16) [15].

Таблиця 3.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок покращення технологій, технічних та метрологічних характеристик, якості, ринкових можливостей	Передбачає надання товару важливих економіко-технічних показників, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів.	Ціна, нижча за ціни конкурентних компаній, хороші технічні та метрологічні характеристики	Стратегія диференціації

Альтернативою проекту є підсилення сильних сторін стартапу за рахунок покращення технологій, технічних та метрологічних характеристик, якості, ринкових можливостей. Постачання високоякісного обладнання, найкраща ціна та індивідуальність системи є головною позицією конкурентоспроможності цього альтернативного продукту.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки, що описано в таблиці 4.16.

Таблиця 4.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

№ п/п	Чи є проект «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	Проект не є першопрохідцем.	Компанія буде шукати як нових споживачів, так і забирати існуючих у конкурентів	Компанія буде досліджувати продукт компанії-конкурентів. Можливе впровадження деяких технологій конкурента у свій продукт.	Стратегія заняття конкурентної ніші

Отже, проаналізувавши стратегії розвитку, для ефективної роботи в сегменті ринку було обрано – стратегію диференціації, яка надає товару важливих властивостей, які відрізняються від інших товарів конкурентів, а за базову стратегію конкурентної поведінки – стратегію зайняття конкурентної ніші та плавного переходу у виклик лідера.

Основною задачею компанії буде: залишитись стабільною впродовж часу, для цього потрібні довгострокові стосунки з інвесторами та клієнтами, бути досить прибутковою, максимально гідно виконувати свої обов'язки, постійно модернізувати та покращувати процес монтажу та наладки системи для прискорення виконання проекту.

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування [15].

Таблиця 4.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Якість, хороші технічні та метрологічні характеристики,	Стратегія диференціації	Кращі технічні та метрологічні характеристики, якість, точність, надійність, ціна.	Надійність, якість, стабільність, іноваційність.

	ціна, надійність, технологічність.			
--	---------------------------------------	--	--	--

На основі визначення базової стратегії розвитку, конкурентної поведінки та позиціонування, можна сформувати напрямок роботи стартап-компанії на ринку, що полягає у постійному розвитку та вдосконаленні системи, впровадженні нових функцій, компонентів, інтелектуальних приладів та протоколів в систему.

Таким чином компанія працюватиме за диференційною стратегією розвитку та стратегією зайняття конкурентної ніші, в якості цільової групи було обрано державні та приватні підприємства, ринок готовий сприйняти товар проте є певна складність виходу на ринок, оскільки на ринку певна кількість конкурентів і ця сфера відносно нова, готовність споживачів сприйняти товар – велика та інтенсивність конкуренції в даному сегменті – середня [15].

#### **4.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту**

Маркетингова програма - це принципові середньо- та довгострокові рішення з відповідними способами та засобами, які визначають орієнтири та спрямовують окремі заходи маркетингу на досягнення поставлених цілей, які охоплюють елементи комплексу маркетингу (продукт, ціну, місце та просування). Вони є глобальними напрямками діяльності, які потребують конкретизації через планування заходів маркетингу, і є своєрідним планом відповідно до якого підприємство формалізує яким чином воно досягне успіху, тобто реалізації продукції на конкретному ринку.

З плином часу функціонування підприємства, маркетингова стратегія може видозмінюватися залежно від результатів діяльності.

По-перше, на етапі створення маркетингової стратегії іноді дуже важко, або навіть неможливо, врахувати яким чином ринок відреагує на попередні рішення фірми, тому логічно, що для того щоб досягати найкращих результатів можна відкоригувати стратегію або деякі її пункти.

По-друге, існуює ряд зовнішніх факторів, які невідконтрольні фірмі, які кардинально можуть вплинути на діяльність фірми; такими факторами можуть

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

бути: новостворені законодавчі акти, кризові явища, війни, стихійні лиха і т. д. Ці фактори можуть бути не лише перешкодою для існування фірми, але й своєрідними каталізатором в залежності від ситуації і від успішності діяльності компанії. Компанія у свою чергу повинна відчувати, коли слід прийняти рішення щодо стратегії, щоб втручатися з метою попередження або уникнення негативних результатів компанії.

Для визначення маркетингових можливостей та загроз стартап-проекту необхідно формалізувати цілі проекту, визначити та проаналізувати ресурси, ринкові можливості та ринкові загрози стартап-проекту.

Аналіз цілей починається з розгляду стратегічного бачення стартап- проекту. Стратегічне бачення – це те, яким засновники бажають бачити свій проект на ринках кінцевого періоду. Стратегічне бачення обов’язково має враховувати інтереси засновників та власників проекту, інтереси споживачів товарів, які створюватиме проект, інтереси співробітників проекту та інтереси суспільства в цілому.

Аналіз ринкових можливостей і загроз стартап-проекту передбачає ретельне вивчення зовнішнього маркетингового середовища, тобто середовища, яке утворює ринок, та яке складається з підконтрольних і неконтрольованих чинників суб’єктів та сил, що впливають на проект.

Маркетинговим середовищем називають сукупність чинників та сил, які діють на підприємство або проект ззовні або зсередини та спричиняють можливості та загрози для його розвитку. Филип Котлер визначає маркетингове середовище як сукупність факторів, що впливають на здатність підприємства розвивати та підтримувати стосунки з цільовим ринком [4].

Першим кроком при розробленні маркетингової програми є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач, для цього потрібно підсумувати результати аналізу конкурентоспроможності товару (4.18). [15]

Таблиця 3.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами ( існуючі або такі, що потрібно створити
-------	---------	----------------------------	--

1	Потреба в економії ресурсів та коштів.	Нижча ніж у конкурентів ціна.	Вдосконалення технології виробництва продукту.
2	Потреба в якійсній системі стабілізації для камери	Система має хороші технічні та метрологічні характеристики та досить низьку ціну.	Постійна технічна підтримка та оновлення. Висока точність та швидкодія, якість, іноваційність технології.
3	Простота та швидкість калібрування системи	Система досить просто та швидко калібрується.	Швидкість калібрування системи.
4	Простота експлуатації системи	Система є простою у експлуатації.	Простота експлуатації системи.

Важливим етапом є визначення ключових переваг концепції товару в розробці стартап-проекту для виконання потреб і забезпечення вигоди, як для споживачів, так і для товаровиробників. Вигодою даного продукту є: швидкість калібрування системи;

- простота експлуатації системи;
- постійна технічна підтримка та оновлення;
- висока точність;
- висока швидкодія,
- висока якість;
- іноваційність технології.

Далі розробляємо трирівневу маркетингову модель товару: уточнюємо ідеї продукту, його фізичні складові, особливості процесу його роботи (табл. 4.19). [15]

Таблиця 4.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Ріні товару	Сутність та складові		
Товар за задумом	Система стабілізації для камери має такі переваги: <ul style="list-style-type: none"> <li>- висока точність;</li> <li>- якісні матеріали та складові;</li> <li>- іноваційність;</li> <li>- хороші метрологічні та технічні характеристики</li> </ul>		
Товар у реальному виконанні	Властивості:	М/Нм	Вр/Тл/Е
	1. Економічні	Нм	Тл
	2. Призначення	Нм	Е
	3. Надійність	М	Вр
	4. Технологічність	М	Вр
	5. Безпека	М	Вр
	6. Зручність	М	Вр

	Марка: назва організації.		
Товар із підкріпленням	Розповсюдження реклами, оновлення системи		

В таблиці 4.19 розроблено трирівневу модель, що відображає задум товару та його можливості при використанні, основні характеристики готового товару [15].

Після опису трьох рівнів моделі товару необхідно визначити цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар. Також треба проаналізувати ціни товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту. В процесі випуску системи її потрібно захистити від нелегального копіювання та випуску шахраями підробок даної системи, тому треба захистити її логотипом, введенням комерційної таємниці та патентуванням методу.

Встановимо цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на товар на основі аналізу на товари-аналоги або товари субститути, а також на аналізі рівня доходів цільової групи споживачі (табл. 4.20) [15].

Таблиця 4.20 – Визначення меж встановлення цін

№ п/п	Рівень цін на товари замітники	Рівень цін на товари аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі на встановлення ціни на товар
1	10-25 тис. грн.	40-60 тис. грн.	Дуже високий	30-45 тис. грн.

В таблиці 4.20 було проаналізовано ринкові ціни на товари аналоги та замітники, а також середній рівень доходів споживачів.

Вартість системи встановлено в межах від 30000 до 45000 грн., вартість залежить від ціни на компонентів системи, націнки, якості виконання робіт та реклами фірми на ринку споживачів.

За проведеним аналізом прийнято рішення встановити верхню межу ціни на продукт.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту в межах якого приймається рішення (табл. 4.21): [15]

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);

- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		104

- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 4.21 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Стандартна закупівля складових системи: датчиків, двигунів, підсилювачів тощо	Доставка продукту клієнту, калібрування.	Канал нульового рівня.	Мережа інтернет.

Для забезпечення ефективної реалізації стартап-проекту оптимальною системою збуту обрано прямий метод, без залучення посередників між виробником та споживачем. Для економії коштів замовлення може проводитися в онлайн режимі (інтернет-ресурси).

І нарешті останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій. В результаті буде розроблена ринкова програма, що включатиме в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення (табл. 4.22). [15]

Таблиця 4.22 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій клієнтів	Ключові позиції	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Перегляд інформаційних ресурсів із потрібним якісним товаром за доступною ціною.	Інтернет, соціальні мережі, виставки, конференції.	Послідовність у реалізаціях обраної позиції. Доступність та об'єктивність інформації про фірму та товар. Послідовне прийняття рішень.	Інформувати глядачів про новий товар, марку та виробника. Огляд технічних можливостей.	Простота у використанні, швидке калібрування, висока якість і точність, надійність, швидкодія.

Маркетингова комунікація буде проходити через рекламу приладу на підприємствах, технічних закладах та виставках, тощо. Метою реклами даного приладу є донесення до потенційних споживачів практичність, якість та інноваційність технологій які використовуються у продукті.

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		105



#### 4.5.Висновки по розділу

В межах даного розділу було розглянуто та розроблено базовий етап стартап-проекту. Проведено опис ідеї проекту, розглянуто сильні та слабкі сторони ідеї проекту, проведено технологічний аудит ідеї проекту.

Також проведено аналіз ринкових можливостей проекту, який у себе включив: аналіз попиту (наявність попиту, обсяг, динаміку розвитку ринку), аналіз та вибір груп потенційних клієнтів проекту та перелік вимог для кожної із груп, аналіз факторів загроз та можливостей, визначення загальних рис конкуренції у галузі, проаналізували конкуренцію у галузі за М.Портером.

Було обґрунтовано можливості конкурентоспроможності проекту, а також проаналізовано сильні та слабкі сторони проекту у порівнянні із конкурентами.

Складено SWOT-аналіз на основі факторів загроз та можливостей. Після складання SWOT-аналізу розглянуто альтернативи для впровадження стартап-проекту.

Розроблено ринкову стратегію стартап-проекту, яка у себе включила: вибір цільових груп потенційних споживачів продукту, вибір базового вектора розвитку, вибір конкурентної поведінки, визначення стратегії позиціонування проекту, визначення ключових переваг концепції потенційного товару, розробку тривірневої маркетингової моделі товару, визначення межі встановлення ціни на продукт, визначення оптимальної системи збуту, розроблення концепції маркетингових комунікацій.

Ринкова комерціалізація проекту є невід'ємною частиною створення нового продукту. Даний продукт для широкого загалу, і орієнтований на всіх починаючи з державних та приватних підприємств закінчуючи іноземними підприємствами. В якості стратегії маркетингу було обрано стратегію диференційованого маркетингу,

Для ефективної роботи в сегменті ринку було обрано: за базову стратегію розвитку – стратегію диференціації, яка передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів, а за базову стратегію конкурентної поведінки – стратегію зайняття конкурентної ніші. Головними прФи цьому завданнями для компанії є:

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		106

залишатись стабільною в продовж часу, бути досить прибутковою, пришвидшити процеси встановлення нових систем та заручення нових клієнтів.

Враховуючи всі вищезгадані проведені аналізи та можливості подальшого розвитку стартап-проекту, незважаючи на досить велику конкуренцію у даній галузі, можна зробити висновок про те, що розробка та вдосконалення даного продукту є доцільним за рахунок його сильних сторін та наявного попиту на ринку.

					<i>МД ПМ-01мл.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		107

## ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської дисертації, було розроблено систему активної стабілізації для камери при зйомках з рук та проведено її дослідження.

В першому розділі проведено огляд найпоширеніших методів стабілізації камери, проведено оцінку точності стабілізації та проаналізовані фактори, що впливають на неї.

В другому розділі було розглянуто матеріали про гіроскопічні стабілізатори, їх конструкцію та принцип дії, а також про побудову їх структурних схем, розрахунок передаточних функцій, перевірки на стійкість.

В третьому розділі розроблено структурну схему приладу, обрано необхідні конструктивні елементи для реалізації та перевірено систему на стійкість. Визначено передаточну функцію, за допомогою якої розраховано та побудовано у вигляді графіків ряд характеристик: перехідний процес, амплітудно-частотна та фазо-частотна характеристики та логарифмічні фазо-частотна та амплітудно-частотна характеристики. Також проведено дослідження впливу конструктивних параметрів на швидкодії приладу та характер перехідного процесу.

В четвертому розділі було розглянуто та розроблено базовий етап стартап-проекту. Проведено опис ідеї проекту, розглянуто сильні та слабкі сторони ідеї проекту, проведено технологічний аудит ідеї проекту та аналіз ринкових можливостей проекту.

Проаналізувавши результати, можна зробити висновок, що система ще потребує вдосконалень, але вона має досить великий потенціал, тому при вдосконаленні та належній реалізації, система може стати успішною і конкурувати з компаніями-виробниками аналогічних систем.

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		108

## Література

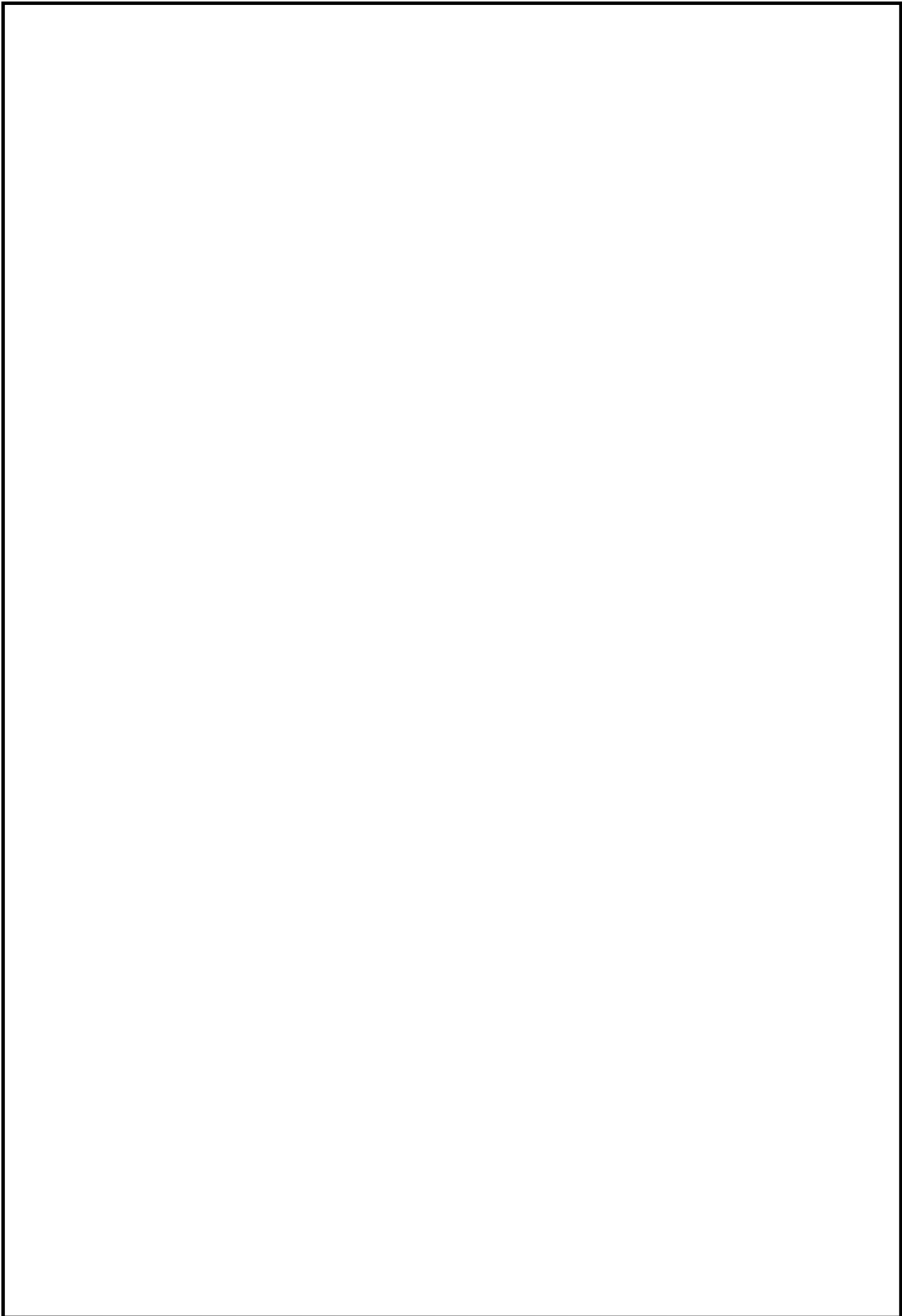
- [1] Нечай, С.О. Дослідження ефективності систем стабілізації зображення фотокамер / С.О. Нечай, Т.В. Хильченко // Журнал “Вісник Національного технічного університету ХПІ ” Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. — 2015. — № 22. — С. 35-38.
- [2] Татарников, Е. В. Проектирование стабилизатора видеокамеры. Инженерия для освоения космоса : сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного Форума с международным участием / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 327 с.
- [3] Карпухин , И. В. Способы стабилизации изображения / И. В Карпухин // Журнал “Евразийский научный журнал ”. — 2016. — № 2. — С. 1967-1978.
- [4] Смирнов, В.А. Система стабилизации и управления линии визирования подвижных объектов , построенная на трехстепенном гироскопе: дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01 / Смирнов Владимир Александрович; Тульский государственный университет, 2000. — 24-31 с.
- [5] Лысов, А.Н. Теория гироскопических стабилизаторов: учебное пособие / Л887 А.Н. Лысов, А.А. Лысова. – Челябинск Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 117 с.
- [6] Бесекерский, В.А. Динамический синтез систем гироскопической стабилизации: монография / В.А. Бесекерский, Е.А. Фабрикант. – Л.: Судостроение, 1968. – 348 с.
- [7] Гироскопические системы. Проектирование гироскопических систем: учебное пособие: в 3-х кн. Т. 2. Гироскопические стабилизаторы. / под ред. Д.С. Пельпора. – М.: Высшая школа, 1977. — 223 с.
- [8] Ишлинский, А.Ю. Механика гироскопических систем: монография /А.Ю. Ишлинский. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 362 с.
- [9] Пельпор, Д.С. Гироскопические системы ориентации и стабилизации: справ. пособие / Д.С. Пельпор. – М.: Машиностроение, 1982. – 165 с.
- [10] Индикаторные гироскопические платформы: монография / А.Д. Александров, Е.А. Правоторов, В.Ф. Рафельсон, М.П. Фельдман; под ред.

					<i>МД ПМ-01мп.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		109

А.Д. Александрова. – М.: Машиностроение, 1979. – 239 с.

- [11] Пельпор, Д.С. Гироскопические системы. Теория гироскопических стабилизаторов: учебник / Д.С. Пельпор. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1986. – 423 с.
- [12] Пельпор, Д.С. Расчет и проектирование гироскопических стабилизаторов: монография / Д.С. Пельпор, Ю.А. Колосов, Е.Р. Рахтеенко. – М.:Машиностроение, 1972. – 216 с.
- [13] Ривкин, С.С. Теория гироскопических устройств: монография: в 2-х кн. / С.С. Ривкин. – Л.: Судостроение, 1964. – Т. 2. – 546 с.
- [14] Назаров, Б.И. Гиростабилизаторы ракет: монография / Б.И. Назаров, Г.А. Хлебников. – М.: Воениздат, 1975. – 216 с.
- [15] Гавриш, О. А., Бояринова К. О., Копішинська К. О. Розробка стартап-проектів. Конспект лекцій : навчальний посібник для студентів спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка»; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові данні (1 файл: 2,88 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 188 с. URL: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/29447>

					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		110



					<i>МД ПМ-01мн.000.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		111

# Додатки