

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

«На правах рукопису»

УДК _____

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____Юрій Киричук

«___» _____ 2022р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

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

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

На тему: «Інтерференційний нуль-індикатор для стенда вимірювання масштабного коефіцієнта гіроскопа»

Виконав:

Студент VI курсу, групи ПМ-11мп
Клименко Дмитрій Володимирович _____

Науковий керівник:

професор, д.т.н.
Безвесільна О.М. _____

Консультант з розробки стартап-проєкту:

Завідувач кафедри економічної кібернетики, д.е.н, професор
Бояринова Катерина Олександрівна _____

Рецензент:

д.т.н., професор
Защепкіна Наталія Миколаївна _____

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

Київ – 2022 року

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

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – другий(магістерський)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____Юрій КИРИЧУК

«___»_____2021р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Клименко Дмитрію Володимировичу

1. Тема дисертації «Інтерференційний нуль-індикатор для стенда вимірювання масштабного коефіцієнта гіроскопа», науковий керівник дисертації професор, д.т.н. Безвесільна Олена Миколаївна, затверджені наказом по університету від «9» листопада 2022р. № 4110-с
2. Термін подання студентом дисертації «19» грудня 2022р.
3. Об'єкт дослідження: інтерференційний нуль-індикатор.
4. Вихідні дані: наукові статті, науково-технічна література.
5. Перелік ілюстративного матеріалу:
 - Кореляційні функції
 - Варіації побудови оптичних блоків інтерференційного нуль-індикатора
 - Схема інтерференційного нуль-індикатора з призмою Кастерса
 - Графік форми вихідного сигналу
 - Оптична розгортка ходу променів

- Амплітуда інтерференційного імпульса
 - Графік спектральних щільностей похибки вимірювання кута
6. Дата видачі завдання «21 жовтня 2022 р.
7. Орієнтований перелік публікацій: _____
8. Консультанти розділів дисертації:

Розділ	Прізвище ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
РОЗДІЛ IV. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ «КОМПЕНСАЦІЯ ВІБРАЦІЙНИХ ДРЕЙФІВ ПРОСКОПІВ»	Бояринова Катерина Олександрівна		

9. Дата видачі завдання: 25.12.2022 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Ознайомлення з предметною галуззю	21.11.2022	
2.	Визначення структури магістерської дисертації; вивчення літератури, пошук додаткової літератури	29.11.2022	
3.	Робота над першим розділом магістерської дисертації	01.12.2022	
4.	Дослідження джерел і систематизація отриманої інформації; робота над другим розділом магістерської дисертації.	05.12.2022	
5.	Проведення наукового дослідження; робота над третім розділом.	08.12.2022	
6.	Завершення роботи над основною частиною магістерської дисертації;	16.12.2022	
7.	Оформлення текстової і графічної частини магістерської дисертації	19.12.2022	

Студент

Науковий керівник

Дмитрій КЛИМЕНКО

Олена БЕЗВЕСІЛЬНА

РЕФЕРАТ

Актуальність теми. Сучасний рівень розвитку приладобудування, машинобудування та інших областей науки і техніки потребують високої точності кутових вимірів. Традиційні засоби вимірювання кута далеко не завжди задовольняють потреби. Однією з основних причин такого положення є недостатньо висока точність кутових вимірювань і перетворювачів кута, що задають в засобах вимірювання кутову шкалу. Тому на сьогодні постає питання покращення точності вимірювань з мінімальним збільшенням затрат.

Об'єктом дослідження є інтерференційний нуль-індикатор.

Предметом дослідження є процес вимірювання масштабного коефіцієнта гіроскопа.

Мета роботи: дослідження відносної погрішності вимірювання масштабного коефіцієнта гіроскопа із заданою точністю вимірювання нуль-індикатора.

Також дана робота припускає по завершенню теоретичних досліджень провести експеримент по результатам якого зробити відповідні висновки щодо використання нуль-індикатора для вимірювань.

Особливістю використання даного інтерференційного нуль-індикатора для стенда вимірювання масштабного коефіцієнта є використання в ньому фотоелектронного множника що значно підвищує точність вимірювання.

Методи дослідження: В роботі використовуються методи та критерії оцінювання різних побудов інтерференційного нуль-індикатора для стенда вимірювання масштабного коефіцієнта.

Наукова новизна роботи полягає в наступному: Використання фотоелектронного множника в інтерференційному нуль-індикаторі для стенда вимірювання масштабного коефіцієнта.

Практична цінність отриманих в роботі результатів полягає в тому, що запропонований варіант значно підвищує точність вимірювання.

Структура та обсяг роботи. Магістерська дисертація складається з вступу, чотирьох розділів та висновків.

У вступі подано загальну характеристику роботи, зроблено оцінку сучасного стану проблеми, обґрунтовано актуальність напрямку досліджень.

У першому розділі було описано єдине вітчизняне підприємство яке працює в даному напрямку, а також було розглянуто будову, типи і принцип дії

лазерного гіроскопа. Окрім цього, було описано будову і принцип дії БДІВа, будову і принцип дії нуль-індикатора.

У другому розділі було проведено оцінку якості виробу.

У третьому розділі було сформовано загальні вимоги до нуль-індикації кутового вимірювання, а також розроблено автоколімаційний нуль-індикатор.

У четвертому розділі розроблено стартап проєкт та проаналізовано можливості і стратегії його реалізації.

Ключові слова: нуль-індикатор, дисперсія, призма Кестерса, відбиваюча поверхня, фотоелектронний помножувач, масштабний коефіцієнт.

ABSTRACT

Actuality of theme. The modern level of development of instrument engineering, mechanical engineering and other fields of science and technology require high accuracy of angular measurements. Traditional means of angle measurement do not always meet the needs. One of the main reasons for this situation is the insufficiently high accuracy of angle measurements and angle converters that set the angle scale in measuring instruments. Therefore, today the question arises of improving the accuracy of measurements with a minimal increase in costs.

The object of research is an interference null indicator.

The subject of the study is the process of measuring the scale coefficient of the gyroscope.

The purpose of the work: the study of the relative error of measuring the scale coefficient of the gyroscope with the specified accuracy of the zero indicator measurement.

Also, this work assumes that after completing the theoretical studies, an experiment will be conducted, based on the results of which appropriate conclusions can be drawn regarding the use of the null indicator for measurements.

A feature of the use of this interference zero indicator for the scale factor measurement stand is the use of a photoelectric multiplier in it, which significantly increases the accuracy of the measurement.

Research methods: The work uses methods and criteria for evaluating different constructions of the interference null indicator for the scale factor measurement stand.

The scientific novelty of the work is as follows: The use of a photoelectron multiplier in an interference null indicator for a scale factor measurement stand.

The practical value of the results obtained in the work is that the proposed option significantly increases the accuracy of the measurement.

Structure and scope of work. The master's thesis consists of an introduction, four chapters and conclusions.

In the introduction, a general description of the work is presented, an assessment of the current state of the problem is made, and the relevance of the research direction is substantiated.

In the first chapter, the only domestic enterprise working in this direction was described, as well as the structure, types and principle of operation of the laser gyroscope were considered.

In the second section, the quality of the product was evaluated and the structure and principle of operation of the null indicator were described. The structure and principle of operation of the BDIV were also described.

In the third section, the general requirements for the zero indication of angular measurement were formed, and an autocollimation zero indicator was developed.

In the fourth chapter, the startup project was developed and the opportunities and strategies for its implementation were analyzed.

Keywords: null indicator. dispersion, Kesters prism, reflecting surface, photomultiplier, scale factor.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	4
ABSTRACT.....	6
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ I. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.....	12
1.1 Характеристика КП СПБ «АРСЕНАЛ».....	12
1.2 Опис та принцип дії лазерного гіроскопа.....	15
1.3 Порівняння лазерного та механічного гіроскопів.....	19
1.4 Нуль-індикатор. Опис і принцип дії.....	21
1.5 Опис БДІВ і принцип дії.....	27
РОЗДІЛ II. ОЦІНКА ЯКОСТІ ВИРОБУ.....	31
2.1 Початкове положення.....	31
2.2 Зміна затрат на науково-дослідницькі та дослідно-конструкторські роботи.....	41
РОЗДІЛ III. ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО НУЛЬ-ІНДИКАЦІЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ АВТОКОЛІМАЦІЙНОГО НУЛЬ-ІНДИКАТОРА.....	47
3.1. Опис конструкції стенда.....	47
3.2. Опис принципу дії стенда.....	47
3.3. Загальні вимоги до нуль-індикації кутових вимірювань.....	47
3.4. Розробка автоколімаційного нуль-індикатора.....	52
3.5. Принципи побудови інтерференційних нуль-індикаторів.....	59
3.6 Дослідження випадкової складової похибки інтерференційного нуль-індикатора.....	69
3.7. Неплощинність хвильових фронтів інтерференційного нуль-індикатора.....	77
РОЗДІЛ IV. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ «КОМПЕНСАЦІЯ ВІБРАЦІЙНИХ ДРЕЙФІВ ГІРОСКОПІВ».....	79
4.1 Опис ідеї проєкту.....	79

4.2. Технологічний аудит ідеї проєкту.....	81
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту.....	82
4. 4. Розроблення ринкової та маркетингової програми стратегії проєкту.....	91
4.5. Висновки.....	97
ВИСНОВОК.....	99
ДЖЕРЕЛА.....	100
ДОДАТОК.....	101

ВСТУП

Сучасний рівень розвитку приладобудування, машинобудування та інших областей науки і техніки потребують високої точності кутових вимірів. Традиційні засоби вимірювання кута далеко не завжди задовольняють потреби. Однією з основних причин такого положення є недостатньо висока точність кутових вимірювань і перетворювачів кута, що задають в засобах вимірювання кутову шкалу. Відмінні властивості кільцевого лазера, що забезпечують створення високоточної кутової шкали, обумовили високу перспективність кутомірних систем на основі кільцевого лазера. В подальшому така вимірювальна система була названа лазерним гоніометром. В результаті розвитку цього напрямку робіт був створений ряд лазерних вимірювальних пристроїв, які використовуються в різноманітних областях техніки.

На даний момент відомі наступні прилади, що використовують даний принцип вимірювання:

1. Лазерні пристрої для атестації кутових мір (многогранні призми).
2. Лазерні пристрої для атестації дискретних перетворювачів кутів.
3. Лазерний вимірювач кутового положення поворотного стола.
4. Лазерний пристрій для вимірювання кутового положення віддаленого об'єкта.
5. Лазерні динамічні системи орієнтації і навігації.
6. Лазерні системи створення кутових шкал.

Якщо розглянути загальні елементи перелічених вище систем, то серед них можна виділити такий елемент як нуль-індикатор, який є їх важливим компонентом і який буде розглянутий в даній роботі.

Традиційним методом створення нуль-індикаторів є використання автоколімаційних систем. Висока чутливість автоколіматора до кутових переміщень дозволяє в ряді випадків отримати на його основі нуль-індикатор з високоточними характеристиками. Разом з тим, автоколімаційному нуль-індикатору властиві значні недоліки і в випадку використання його в лазерних системах гоніометричного типу до цих недоліків варто віднести чутливість до кутових переміщень по двом ортогональним осям. Інший недолік пов'язаний з принциповими обмеженнями, що накладаються на мінімальну ширину імпульса, який формується нуль-індикатором в динамічному режимі. Зменшення кутової ширини імпульса супроводжується зниженням його амплітуди і, відповідно, зниженням відношення сигнал/шум або збільшенням габаритів пристроя. Вказані недоліки будуть розглянуті більш детально.

Також погрішність нуля-індикатора визначаються в основному кутовою шириною імпульса і співвідношенням сигнал/шум його вихідного сигналу. Для систематичних погрішностей важливим є неплоскість хвильового фронту світлових пучків нуля-індикатора.

На основі інтерференційного нуля-індикатора розроблений цифровий інтерференційний автоколіматор АИ-0,1Ц, який використовується в системах атестації перетворювачів кут-код. Відомо використання нуля-індикатора в лазерному гоніометричному гірокомпасі, де нуля-індикатор також, як і в попередніх випадках, потрібен для створення імпульсного сигналу.

РОЗДІЛ I. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.

1.1. Характеристика КП СПБ «АРСЕНАЛ»

Казенне підприємство спеціального приладобудування «Арсенал» — підприємство, один із найбільших виробників України у сфері приладобудування, зокрема — оптичних приладів та оптико-електронних систем, м. Київ. Розпочав свою діяльність з 1764 року. З самого початку «Арсенал» спеціалізувався на виготовленні військового спорядження і зброї. До початку ХХ століття тут працювало близько 800 чоловік, це було найбільше підприємство міста. Завод мав (крім виробничих та адміністративних будівель) кілька житлових будинків для службовців та робітників, власний дитячий садок, двохкласну школу (зараз це Кловський ліцей), бібліотеку, безкоштовну лікарню. У Київському ремесленому училищі навчали робітничим професіям для заводу. На той час «Арсенал» виготовляв гарматні лафети, снаряди, виконував ремонт артилерійської зброї. Завод обслуговував артилерію Печерської фортеці та укріплень, які оточували місто. До початку Першої світової війни завод мав загальноросійське стратегічне та оборонне значення, виконуючи військові замовлення на всю імперію. Після встановлення Радянської влади завод зберіг свій військовий профіль. Окрім того, в незначній кількості, і почав виробляти цивільну продукцію: сільськогосподарське обладнання, інструменти та побутові товари різного призначення. Після війни на «Арсенал» було доставлено обладнання заводу відомої фірми «Carl Zeiss Jena» (виробник фототехніки та оптичних приладів), вивезене з Німеччини в рахунок репарацій, також прибули інтерновані фахівці галузі. Це визначило подальший профіль виробництва. З 1946 року завод перепрофілювався на випуск оптичних, оптико-механічних і оптико-електронних приладів військового призначення. «Арсенал» став режимним підприємством військово-промислового комплексу СРСР. В 1954 році було створене центральне конструкторське бюро «Арсенал», як самостійна структурна одиниця заводу.

Одним з найвідоміших видів цивільної продукції заводу була фототехніка, історія якої почалась з першої масової фотокамери «Київ-2» (1949 рік). Моделі «Київ-2» та «Київ-3» були точними копіями німецьких камер Zeiss Contax-II та Contax-III. До налагодження лінії виробництва на заводі «Арсенал», фотоапарати «Київ» виготовлялися на заводі Цейсса в Йені (НДР). Пізніше всю документацію та обладнання вивезли до Києва та почалося виробництво фотокамер на «Арсеналі». Найперші екземпляри збирались з оригінальних німецьких комплектуючих.

На заводі було розроблено та вироблялись вироби військового призначення: системи орієнтування, апаратура прицілювання, прилади самонаведення, спостереження, вимірювання, аналізу та фотографування, які призначені для експлуатації як в лабораторних, так і в жорстких природних умовах. Усі космічні старту колишнього СРСР і росії забезпечуються з використанням оптично-електронних систем орієнтування виробництва «Арсенала». Значним досягненням є створений в 1970-х роках комплекс імітаторів зовнішньої візуальної обстановки, які відтворюють повну ілюзію маневрування і керування космічним кораблем при наземній підготовці космонавтів. Імітаторами, що виготовлені на заводі, укомплектовані моделювальні стенди та тренажери, центри підготовки космонавтів та космодром «Байконур». На заводі виготовлялись, авіаційні нашоломні системи вказування цілі, що використовуються на літаках-винищувачах в комплексі з «арсенальськими» головками самонаведення для ракет «повітря-повітря». У галузі цивільного приладобудування було розроблено та серійно випускалась унікальна за своїми характеристиками кутовимірювальна системи ГС-1Л, створеної з використанням оригінальної електронно-комп'ютерної системи та лазерного гірометра власного виробництва. Висока точність гоніометричних вимірювань дозволяє застосовувати цю установку як національний еталон кутів.

Фототехніка, створена арсенальцями, використовувались при фотозйомці з борту космічних кораблів серії «Восток», «Союз», місячних кораблів серій «Луна» та «Зонд», орбітальної станції «Салют», а також у відкритому космосі.

Унікальні зйомки з космосу, зроблені арсенальських фотокамерами, обійшли всю світову пресу.

У другій половині 1990-х років створені та серійно випускаються оптико-електронні прилади для медицини, наприклад, телевізійний аналізатор крові АК-11, який забезпечує експрес-діагностику по 11 гематологічним параметрам за 2-3 хвилини замість 30-40 хвилин за класичною методологією.

В останні роки «Арсенал» освоїв виробництво дорожніх світлофорів на світлодіодах. Їхня конструкція має найвищу надійність, у кілька разів зменшує енергоспоживання та виключає виникнення сонячного бліку — «фантому».

Серед продукції є також банківська техніка — лічильники банкнот і монет.

Одним із пріоритетних напрямів діяльності підприємства є виробництво високоточних приладів обліку газу. Арсенальські побутові та промислові лічильники газу роторного типу відрізняються малими габаритами, високою чутливістю, великим динамічним діапазоном вимірювань, підвищеною надійністю і технічним ресурсом.

У листопаді 2004 року за виробництво побутових лічильників газу «GMS-Арсенал» завод «Арсенал» був нагороджений медаллю та дипломом Всеукраїнського конкурсу-виставки «Найкращий вітчизняний товар року» у номінації «промислові товари для населення».

24 листопада 2009 року відбулося об'єднання двох підприємств — ДП завод «Арсенал» та Казенного підприємства «ЦКБ „Арсенал»» (проведено за розпорядженням Кабінету Міністрів України від 10.04.09 р. № 525-р). Метою було поєднання науково-технічних і виробничих можливостей Центрального конструкторського бюро «Арсенал» та ДП заводу «Арсенал» для створення потужного сучасного підприємства приладобудування. У результаті реорганізації створено нове підприємство — Казенне підприємство спеціального приладобудування «Арсенал» (скорочено КП СПБ «Арсенал»).

Усі робітники ДП завод «Арсенал» (понад 2500 осіб) переведені на роботу до нового підприємства. [1]

1.2. Опис та принцип дії лазерного гіроскопа.

Термін «гіроскоп» має грецьке походження та походить від двох слів, що означають «круглий» та «дивлюся». Сенс роботи даного приладу полягає у тому, що він може змінювати свою орієнтацію за певними кутами щодо певної інерціальної системи відліку. Передумовою для створення лазерного гіроскопа були дослідження в області оптики рухомих тіл. Так у 1913 р. французький фізик Жорж Саньяк відкрив «вихровий оптичний ефект», що дозволяє оптичними методами вимірювати швидкість обертання об'єкта щодо інерціальної системи відліку. В експерименті Саньяка було встановлено взаємозв'язок між величиною зміщення інтерференційної картини, утвореної на виході кільцевого інтерферометра світловими променями, що поширюються назустріч одне одному, та його кутовою швидкістю.

Лазерний гіроскоп — оптичний прилад для вимірювання, зазвичай застосовується в системах інерціальної навігації. Лазерні гіроскопи використовують ефект Саньяка — поява фазового зсуву зустрічних світлових хвиль в обертовому кільцевому інтерферометрі.

Основне застосування лазерного гіроскопа — навігація рухомих об'єктів, таких як літаки або ракети. Для маленьких приладів (наприклад, стільниковий телефон) використовуються більш дрібні і менш точні гіроскопи. Крім навігації гіроскоп можна застосовувати для фундаментальних досліджень або вимірювання коливань земної кори (землетруси). Для цих цілей використовуються великі гіроскопи, з периметром в кілька метрів. Найточніший в світі лазерний гіроскоп побудований в геодезичній обсерваторії Ветцелль, Мюнхенського технічного університету. Він призначений для

фіксації найменшої зміни зміщення земної осі при обертанні. Точність приладу така, що він може вловлювати биття земної осі в частки кутових хвилин. [2]

Прилад сам по собі є лазером і складається з активного середовища і резонатора, при роботі відбувається генерація випромінювання в двох напрямках. Робота лазерного гіроскопа заснована на ефекті Саньяка, два промені генеруються в резонаторі лазерного гіроскопа і, якщо прилад обертається, то відбувається генерація хвиль різної частоти для різних напрямків через різну оптичну довжину резонатора для різних напрямків обходу, за та проти напрямку обертання. Описати різницю частот в гіроскопі, викликану обертанням, можна за допомогою формули:

$$\Delta\nu = \frac{4A\Omega}{L\lambda},$$

де A — площа, що охоплюється променем, L — периметр резонатора, Ω — кутова швидкість обертання гіроскопа, λ — довжина хвилі.

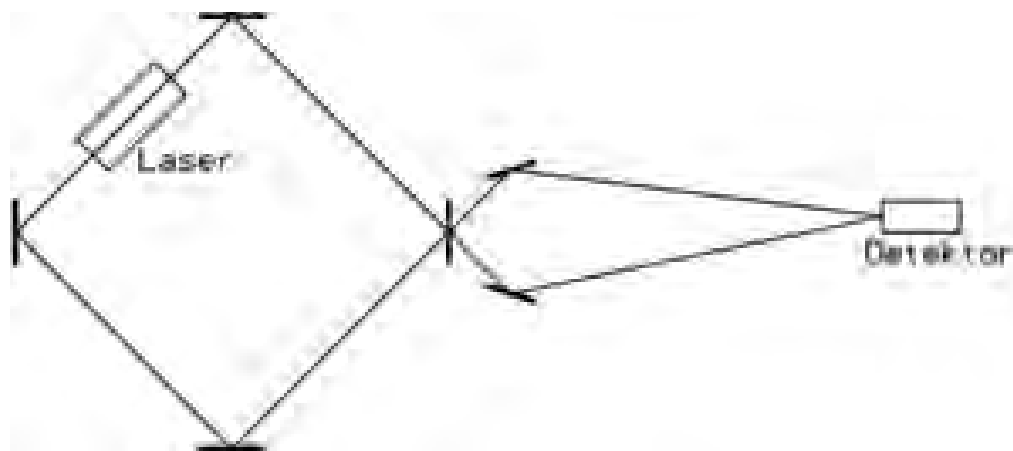


Рис. 1.1 Схема лазерного гіроскопа

Найпростіша конструкція лазерного гіроскопа являє собою пристрій із трьома дзеркалами-відбивачами, що розміщені по кутах контуру таким чином, що утворюється замкнута траєкторія для світлового променя. Замкнута траєкторія має вигляд кільця. Лазерний промінь створюється двома квантовими генераторами. При цьому один квантовий генератор посилає випромінювання за годинниковою стрілкою, а другий квантовий генератор — проти. Як правило

в лазерному гіроскопі встановлюється тільки один оптичний квантовий генератор, який містить два або більше активних елементів, які формують промені, що рухаються в протилежних напрямках. Слід зазначити, що світлове випромінювання слабшає при відбитті від дзеркал, проходженні від дзеркала до дзеркала та при проходженні через напівпрозоре дзеркало і призму. Тому необхідно, щоб коефіцієнт посилення світлових променів уздовж всього шляху був не менше одиниці. Також ще однією важливою вимогою є те, щоб на довжині шляху лазерних променів могло б розміститися ціле число довжин хвиль, які генеруються лазерами, оскільки зсув фаз світлових коливань в порожнині резонатора повинен дорівнювати нулю. Для цього частота коливань лазера повинна бути такою, щоб підсилююче середовище дало б коефіцієнт посилення, який є достатнім для компенсації втрат у відбиваючих та інших елементах оптичного контуру лазера. При повороті кільцевого резонатора оптичні шляхи, по яким проходять промені, що рухаються за і проти годинникової стрілки є різними. Різниця між оптичними шляхами сприяє виникненню різниці частот коливань, які генеруються. При цьому різниця частот коливань визначає швидкість обертання резонатора. Зазвичай резонатор лазерного гіроскопа має вигляд кільцевого резонатора з трьома або чотирма дзеркалами. При цьому резонатор може бути як і моноблочним, так і складатися із окремих елементів. Резонатор може мати форму трикутника або квадрата. Два лазерних променя, що генеруються і посилюються у гіроскопі, безперервно циркулюють по резонатору в протилежних напрямках. При цьому у лазерному гіроскопі створюється і підтримується стояча хвиля. Нагадаємо, що стоячею хвилею називається хвиля, яка при будь-якій фазі коливань, не поширюється у просторі, при цьому характерною її особливістю є наявність вузлів, у яких амплітуда хвилі дорівнює нулю, та наявність пучностей, у яких амплітуда є максимальною, при цьому положення пучностей та вузлів залишається незмінним у просторі. Положення вузлів і пучностей стоячої хвилі не змінюється, якщо гіроскоп не обертається відносно інерціальної системи відліку. Також слід зазначити, що при повороті резонатора фотоприймачі

вимірюють кут повороту та фіксують зміщення інтерференційних смуг. Далі, підраховуючи кількість смуг отриманої інтерференційної картини або їх часток, визначається кут повороту лазерного гіроскопа навколо вхідної вісі та середня кутова швидкість.

На даний момент точність лазерних гіроскопів є досить високою. Лазерні гіроскопи здатні реєструвати швидкість обертання менше ніж 0.1 град/год, вимірювати різницю оптичних траєкторій із точністю до 10–.5 нм та фіксувати частотні зміни близько 0.1 Гц при наявності робочої частоти 1014–1015 Гц.



Рис. 1.2 Лазерний гіроскоп.

Основні переваги лазерного гіроскопа:

- Цифровий вихідний сигнал;
 - Малий час готовності;
 - Відсутність рухомих частин (в деяких випадках);
 - лазерний гіроскоп є незамінним оптичним приладом для вимірювання кутової швидкості, що застосовується в системах інерціальної навігації.
- [3]

1.3. Порівняння лазерного та механічного гіроскопів.

Принцип роботи механічного гіроскопа можна проаналізувати на прикладі роторного гіроскопа (Рис. 2). Основою роторного гіроскопа є ротор, що насаджується на вісь, яка, в свою чергу, може вільно змінювати своє положення у просторі. Швидкість обертання гіроскопа значно перевищує швидкість повороту його вісі обертання. Основна властивість даного механічного гіроскопа полягає у здатності зберігати у просторі незмінний напрямок вісі обертання при відсутності впливу на нього моментів зовнішніх сил та ефективно чинити опір дії зовнішнім моментам сил. При цьому дана властивість визначається величиною кутової швидкості власного обертання роторного гіроскопа. Тобто даний механічний гіроскоп являє собою тверде тіло, що швидко обертається. Вісь обертання гіроскопа може вільно змінювати свою орієнтацію у просторі. Також під час роботи роторного гіроскопа швидкість обертання його центрального елемента значно перевищує обороти по інших вісях, завдяки чому гіроскоп може зберігати напрямок вісі обертання навіть при впливі на його корпус зовнішніх сил. Слід зазначити, що при переміщенні механічного гіроскопу спостерігається ефект опору.



Рис. 1.3 Механічний гіроскоп.

Роторні механічні гіроскопи, так само, як і лазерні гіроскопи, мають досить широке застосування у різних сферах науки та техніки. Вони застосовуються в якості складових частин навігаційних систем, використовуються як стабілізуючі елементи для різноманітних механізмів, зокрема, для стабілізації та контролю орієнтації різних космічних апаратів. Так механічні гіроскопи дозволяють аналізувати рух літака у просторі за відсутності орієнтирів. На даний момент механічні гіроскопи по точності перевершують лазерні гіроскопи, але в механічних гіроскопах присутні механічні деталі, що є досить незручним для вирішення багатьох задач. Також механічний гіроскоп за вартістю та надійністю поступається лазерному гіроскопу. Також варто зауважити, що лазерні гіроскопи мають певні переваги у порівнянні із електромеханічними, які мають дуже важливе значення при вирішенні численних практичних завдань. Так, для конструкторів систем управління важливу роль грає спосіб, яким саме отримуються вихідні дані з гіроскопів та вигляд отриманих даних. Саме лазерний гіроскоп дає змогу отримувати на виході дуже зручні для управління сигнали, наприклад, у вигляді послідовності електричних імпульсів, полярність яких визначається напрямком повороту лазерного гіроскопа. При цьому число поодиноких імпульсів пропорційно малим фіксованим приростам кута повороту (наприклад, одній секунді дуги). Також слід зауважити, що повний кут повороту лазерного гіроскопа знаходиться за загальною кількістю імпульсів, кошти обертання Землі на вхідну вісь лазерного гіроскопа. Найменшим лазерним гіроскопом є гіроскоп КМ-2, який має периметр всього 2 см та призначений для вимірювання кутової швидкості ротора, що характеризується досить швидким обертанням. Слід зазначити, що чутливість лазерного гіроскопа пропорційна площі поверхні, що обмежена променями лазера. На даний час у багатьох країнах проводяться інтенсивні дослідження властивостей лазерного гіроскопа. Основою для таких досліджень є прогнозовані унікальні характеристики лазерного гіроскопа, які за розрахунками складають:

а) поріг чутливості до 10^{-9} рад/сек;

б) точність вимірювання до 10^{-6} та вище;

в) швидкість відходу — одиниці секунд дуги за добу.

На даний час постає задача виключення впливу змін умов навколишнього середовища на точність лазерних гіроскопів. Тобто нам необхідно суттєво підвищити точність лазерних гіроскопічних вимірювань у техніці, а саме при стабілізації положення літальних апаратів у просторі, при керуванні рухомими об'єктами різного типу, що підлягають дослідженню, за рахунок виключення впливу метеофакторів (атмосферного тиску, температури середовища по лінії візування, вологості і ін.) на точність вимірювань. [3]

1.4. Нуль-індикатор. Опис і принцип дії.

Нуль-індикатор призначений для точного порівняння перетворюваного напруги з напругою, вироблюваним в перетворювачі. Схема нуль-індикатора являє собою мультівібратор, в ланцюзі зв'язків якого включений діодний міст. За допомогою діодного мота включається позитивна або негативна зворотній зв'язок тріодів мультівібратора.

Схема перетворювача напруги в двійковий код за методом порозрядного кодування. Нуль-індикатор являє собою схему блокінг-генератора з обмотками позитивної і негативного зворотного зв'язку. Порівнює елементом нуль-індикатора є діоди Д-1 і Д-2 послідовно підключені до обмоток позитивної і негативної. Нуль-індикатор дозволяє порівнювати два напруги постійного струму з точністю до 1 мв. Спрощена блок-схема електромеханічного цифрового вольтметра. Нуль-індикатор призначений для перетворення різницевого напруги, одержуваного в процесі компенсації, в сигнал, який приводить в дію блок керування. Нуль-індикатор спрацьовує при достатньому часі закриття тріода Т, а останній закритий при позитивному знаку порівнюваних величин.

Нуль-індикатор спрацьовує при достатньому часі закриття тріода Г, а останній

закритий при позитивному знаку порівнюваних величин.

Міст змінного струму P5026. Нуль-індикатор призначений для індикації рівноваги моста і є чутливий виборчий транзисторний підсилювач, на виході якого включений стрілочний прилад.

Нуль-індикатор - індикатор, призначений для індикації та контролю стану рівноваги врівноважується вимірювальних схем.

Нуль-індикатор повинен являти собою надійний, безконтактний, малогабаритний і швидкодіючий прилад, службовець для індикації знака малого напруги або грубого вимірювання малих напруг. Він є надзвичайно важливим елементом. У попередніх розділах були описані деякі типи безконтактних модуляторів на кремнієвих діодах і германієвих тріодах, розроблені для цієї мети. Нуль-індикатор то працює нормально, то абсолютно втрачає чутливість. Перевірку потрібно починати з заміни РД, а в разі його справності з'ясувати за допомогою електронного осцилографа, в якому каскаді зникає сигнал. Попередньо слід переконаватися, що всі лампи і вібратор надійно встановлені в своїх панелях.

Нуль-індикатор повинен відрізнити позитивний сигнал від негативного. При наявності позитивного сигналу на вході нуль-індикатор повинен підсилити його і видати більш потужний сигнал на виході. За наявності негативного сигналу на вході сигнал на виході нуль-індикатора повинен бути відсутнім. До нуль-індикатору не пред'являються вимоги сталості коефіцієнта посилення. Нуль-індикатори (гальванометри) застосовуються в потенціометричних синхронних передачах і в схемах деяких радіолокаційних станцій.

Нуль-індикатори поділяються за способом виконання на контактні (електромеханічні) та безконтактні.

Нуль-індикатор являє собою двухкаскадний балансний підсилювач постійного струму з негативним зворотним зв'язком в кожному каскаді. Між анодами ламп вихідного балансного каскаду L_1 і L_2 включена ланцюг, що містить міліамперметр T_a , два напівпровідникових діода D_1 і D_2 , електромагнітне реле P_1

додатковий опір R_e . Міліамперметр служить для попереднього балансування нуль-індикатора (установка на нуль) і візуального визначення точки кінця титрування; нульове ділення розташоване посередині шкали. Реле P служить для автоматичного уповільнення швидкості титрування та припинення титрування при досягненні точки кінця титрування. Діод L повідомляє фазочутливість реле діод H_i й опір R_e служать для симетрування навантаження вихідного каскаду. Нуль-індикатори широко використовуються при вимірюваннях приладами порівняння. В якості нуль-індикаторів постійного струму служать магнітоелектричні гальванометри і чутливі мікровольтметр та наноперметри, на змінному струмі використовують електронні підсилювачі зі стрілочними або осцилографічними індикаторами. Нуль-індикатор живиться від мережі змінного струму.

Структурна схема цифрового вольтметра. Нуль-індикатор являє собою безінерційний підсилювач, що володіє великою чутливістю.

Нуль-індикатори застосовуються в мостових і компенсаційних схемах.

Приємно те, що їх можна застосовувати при підвищених і високих частотах, тоді як вібраційні гальванометри мають дуже вузький діапазон частот. Так, осцилографічний індикатор нуля типу ІНО-3М забезпечує роботу з мостами при частоті 50100400 800 і 1000 гц.

Нуль-індикатор в схемі спрямованого реле опору має значно більш високу чутливість в порівнянні з нуль-індикатором реле напряму потужності, і тому до величинам струмів небалансу пред'являються більш жорсткі вимоги.

Схема приладу для вимірювання великих опорів. Нуль-індикатор працює таким чином. Джерело живлення - батарея на 18 в – одночасно служить для живлення ланцюга розжарення і для живлення анодного ланцюга. Схема катодного потенціометра з нуль-індикатором. Нуль-індикатор аналогічний наведеному на рис. IX.

Нуль-індикатор являє собою підсилювач змінного струму, зібраний на лампі 6Ж8 з електронним індикатором на виході. Подібна схема має гарну чутливістю.

Нуль-індикатор підключається до затискачів 1 - 2 з допомогою кнопок Грубо і Точно. При включенні Точно нуль-індикатор включається в схему безпосередньо.

Способи згладжування в схемах порівняння абсолютних значень величин.

Магнітоелектричні нуль-індикатори в даний час досить широко використовуються в електромеханічних захистах для реї. Для статичних напівпровідникових захистів більш доцільно застосовувати напівпровідникові нуль-індикатори.

Принципова схема нуль-індикаторів трактів включення і заборони включення генератора. Нуль-індикатор включення містить повторювач Т-12 підсилювальний тріод Т-13 і реле РВО.

Нуль-індикатор схеми реле може бути виконаний з релейним або безрелейним виходом. В першому випадку в якості виконавчого органу використовується поляризоване реле РП-7 у другому - замість нього ставиться опір, падіння напруги в якому використовується в якості сигналу. Це дозволяє зафіксувати короточасне відкриття тріода, миттєво розряджати нормально заряджений конденсатор, який після закриття тріода підтримує струм в ланцюзі колектора. До ланцюзі колектора, крім того, приєднаний конденсатор С5 який запроваджує позитивний зворотний зв'язок і тим самим надає схемою невелику і короткочасно тригерні.

Нуль-індикатори вимірювальних органів підрозділяються за способом виконання на контактні (електромеханічні) та безконтактні.

Нуль-індикатор вимірювального органу задовольняє вимогам чутливості і надійності, може бути виконаний на базі напівпровідникових підсилювачів в поєднанні з менш чутливими і більш надійними електромеханічними реїфе.

Попереднє посилення вихідного сигналу елемента порівняння дозволяє використовувати, наприклад, поляризоване.

Нуль-індикатор електронного потенціометра, моста і індукційного приладу складається з електронного підсилювача, який підсилює напругу небалансу вимірювальної схеми, і реверсивного електродвигуна, ротор якого обертається

в ту чи іншу сторону під впливом електронного підсилювача і пересуває повзунок реохорда по напрямку до точки балансу, одночасно пересуваючи показує стрілку і реєструючий механізм приладу.

Нуль-індикатори індукційних приладів на відміну від нуль-індикаторів потенціометрів мають іншу схему підсилювача напруги, який зазвичай не має вхідного трансформатора і складається з двох каскадів.

Нуль-індикатором служить електронний підсилювач постійного струму з механічним перетворювачем і вихідним фазочутливим каскадом. Відліковий пристрій являє собою набір освітлених з торця пластин з оргскла з вигравіруваними на них знаками.

Нуль-індикатором в першому випадку служив кварцовий спіральний манометр.

Нуль-індикатором потенціометра є гальванометр G. Нульове показання гальванометра свідчить про те, що у вимірювальній схемі досягнуто стан компенсації. А це означає, що вимірюється напруга одно компенсаційному напрузі, створюваному в потенціометрі за допомогою перемикачів вимірювальних декад.

Одночасно нуль-індикатор є підсилювачем сигналу. Таким чином, до складу схеми порівняння зазвичай входить нуль-індикатор.

Криві напруг на кільцевому модуляторі при. Оскільки нуль-індикатори або порогові пристрої схем порівняння реальних реле напруги потужності мають ненульове споживання, то для спрацьовування реле необхідно подати деякі величини напруг і струмів.

Застосовуючи спеціальні високочутливі нуль-індикатори, можна значно підвищити точність індикації квадратури двох напружень.

Застосовуючи більш чутливі нуль-індикатори, можна отримати набагато більшу точність симетрування СД. Межі точності симетричної роботи СД визначаються не можливостями його налаштування, а її стабільністю в часі.

Показання нуль-індикатора (в якості якого використаний мікроамперметр М-24), включеного між анодами лампи Л4 пропорційні різниці напруг вимірювальної та компенсаційної ланцюгів. При рівності цих напружень

стрілка індикатора встановлюється близько нульового розподілу. На рукоятці конденсатора змінної ємності, що є регульованим елементом компенсаційної ланцюга, укріплений лімб зі шкалою, проградіруйованої в одиницях електропровідності.

Спрацьовування нуль-індикатора відбувається при певному значенні протікає по ньому струму. Схема нуль-індикатора відрізняється від схеми, описаної раніше. Схема нуль-індикатора діє таким чином. З боку затискачів харчування подається напруга від джерела оперативного постійного струму. При цьому між позитивною і негативною шинною встановлюється стабілізована діодами Д2 і Д3 напруга порядку 115 в.

Ланцюги нуль-індикаторів в схемах порівняння повинні обтічні струмом, пропорційним різниці порівнюваних струмів або напруг, тому зв'язок цих ланцюгів з ланцюгами робочого або гальмівного контура - так само неприпустима, як і зв'язок з ланцюгами живлення, розглянутими вище. Ці зв'язки найчастіше виникають через междупроводніє ємності й індуктивності монтажних проводів, а іноді і через опору активних витоків. Можливі наводки в ланцюгах нуль-індикатора від магнітних полів розсіювання різних трансформаторів, дроселів і реле схеми. Особливо небезпечні такі зв'язку з ланцюгами бази вхідного тріода, так як в цьому випадку паразитні струми посилюються і можуть істотно вплинути на характеристики реле. Тому рекомендується при монтажі всі ланцюги, пов'язані з базою до їх приєднання до схеми порівняння, виконувати екранованим проводом, приєднуючи екранну оболонку до позитивного затискача джерела живлення.

Випробування нуль-індикаторів починають з огляду і перевірки справності пайок та інших електричних з'єднань. Після огляду повільно збільшують напругу на нуль-індикатор від нуля і при від'єднаних вхідних затисках спостерігають за поведінкою виконавчого вихідного реле схеми нуль-індикатора.

Дія нуль-індикатора полягає в тому, що напруга небалансу вимірювальної схеми подається на вхід електронного підсилювача і, будучи посилено, керує

обертанням реверсивного електродвигуна, який пересуває повзунок реохорда або плунжер індукційно-трансформаторної системи у напрямку до положення балансу, одночасно пересуваючи вказуючу стрілку і реєструючий механізм приладу. Харчування нуль-індикаторів трьох реле здійснюється від блоку живлення LJG1, розміщеного на тій же панелі захисту.

Схема випробування нуль-індикаторів спільно. У справних нуль-індикаторів струми і напруги спрацьовування в інтервалі температур від - 30 до 45 змінюються менш ніж в 2 рази. Однак нуль-індикатор може працювати цілком надійно і чітко і при великих змінах параметрів спрацювання. Практично в схемах реле можуть використовуватися всі нуль-індикатори, у яких струми повернення в зазначеному інтервалі температур не набувають негативних значенні.

У нуль-індикаторів індукційних приладів на відміну від нуль-індикаторів потенціометрів інша схема підсилювача напруги, який зазвичай не має вхідного трансформатора і складається з двох каскадів. [4]

1.5. Опис БДІВ і принцип дії.

Блок датчиків інерціальних вимірювань призначений для:

- Перетворення вхідних фізичних величин в вихідні фізичні величини за такт знімання інформації;
- Передача в пристрої виробу обчислених значень приростів кутів повороту та уявної швидкості БДІВ в проекціях на осі приладової системи координат БДІВ за такт знімання інформації;
- Формування та видачі в пристрої виробу узагальненої ознаки готовності БДІВ до роботи;
- Формування масиву телеметричної інформації БДІВ і його передачу по цифровому каналу зв'язку в пристрій виробу.

Функціонально до складу БДІВ входять:

- Блок чутливих елементів, що конструктивно поєднує блок лазерних гіроскопів, що складається з трьох елементів чутливих лазерних ЄЧ-16 зі взаємно ортогональними осями чутливості, трьох блоків керування, блоку підпалу і блоку накачування, акселерометр тривісний, що складається з трьох компенсаційних маятникових акселерометрів, осей чутливості які паралельні відповідним осям чутливості лазерного гіроскопа;
- Блок модулів живлення, що конструктивно поєднує джерело вторинного живлення, блок ВП-ПК-Н і пристрій захисту;
- Блок перетворення сигналів і терморегулювання акселерометра, що конструктивно поєднує блок перетворення сигналів акселерометра і пристрій терморегулювання;
- Пристрій формування вихідних сигналів;
- Корпус, в якому встановлені блок чутливих елементів та інші блоки;
- Амортизатори, що забезпечують захист від механічних впливів;
- Рама, що забезпечує встановлення БДІВ на виробі.

Лазерний гіроскоп забезпечує перетворення проекції на його вісь чутливості вектора кутової швидкості обертання корпусу БДІВ відносно інерційного простору в вихідний частотно-модульований сигнал, який далі перетворюється в приріст кута з відповідним знаком.

Чутливим елементом лазерного гіроскопа є кільцевий лазер, в резонаторі якого поширюються по замкненому контуру назустріч одна одній дві світлові хвилі . При обертанні лазерного гіроскопа між зустрічними хвилями виникає різниця частот, значення якої пропорційно кутовій швидкості його обертання.

Резонатор кільцевого лазера має чотирикутну форму та виконаний у вигляді моноблоку із оптичного матеріалу з низьким коефіцієнтом температурного розширення. У вершинах моноблоку передбачені посадкові грані, на які встановлені за допомогою оптичного контакту два плоскі та два плоско сферичні зеркала. На плоско сферичних дзеркалах встановлені п'єзокоректори,

які здійснюють плоско паралельне переміщення дзеркалах встановлені п'єзокоректори, які здійснюють плоско паралельне переміщення дзеркал відповідно до сигналів керування системи стабілізації параметру резонатора кільцевого лазера. На одному плоскому напівпрозорому дзеркалі встановлюється призма каналу потужності, на якій монтуються фотоприймачі каналу потужності, електричні сигнали яких пропорційні інтенсивності зустрічних хвиль. На іншому плоскому напівпрозорому дзеркалі встановлюється призма каналу потужності, на якій монтуються фотоприймачі каналу потужності, електричні сигнали яких пропорційні інтенсивності зустрічних хвиль. На іншому плоскому напівпрозорому дзеркалі встановлюється змішувальна призма та двохсекційний фотоприймач інформаційного каналу. В кільцевому лазері присутнє явище захоплення частот, яке полягає в тому, що при обертанні кільцевого лазера із кутовою швидкістю меншою деякого критичного значення, частоти зустрічних хвиль синхронізуються і різниця частот виявляється рівною нулю.

Для усунення цього явища застосовані примусові коливання навколо осі чутливості осі чутливості із амплітудою в кілька кутових хвилин, створюванні за допомогою віброприводу. Для встановлення віброприводу в центрі моноблоку передбачений отвір із втулкою. При цьому у вихідну інформацію лазерного гіроскопа про кутовий рух в інерціальному просторі виробу, я кому встановлений БДІВ, додається інформація про безперервну коливальну зміну кутового положення чутливого елементі гіроскопа відносно корпусу БДІВ з амплітудою $\sim 3'$.

Для виключення з вихідного сигналу лазерного гіроскопа складової про коливальну зміну положення чутливого елемента лазерного гіроскопа відносно корпусу БДІВ визначається миттєве кутове положення чутливого елемента лазерного гіроскопа відносно корпусу БДІВ, і його значення віднімається з вихідного сигналу. Миттєве кутове положення чутливого елемента лазерного

гіроскопа визначається як інтеграл від вихідного сигналу датчика відносної кутової швидкості, встановленого в лазерний гіроскоп. Відповідний йому сигнал позначається «ДП ЛГ».

РОЗДІЛ II. ОЦІНКА ЯКОСТІ ВИРОБУ

2.1. Початкове положення

Оцінка рівня якості виробу (програмного продукту, системи, приладу) проводиться з метою порівняльного аналізу і визначення найбільш ефективного, в технічному відношенні, варіанта інженерного рішення. Така оцінка відбувається на стадіях виготовлення нової та модернізації існуючої техніки, при впровадженні її у виробництво, в процесі проведення функціонально-статистичного аналізу.

На різних стадіях оцінка рівня якості виробу має свої особливості.

На етапі створення нових або модернізації існуючих виробів (при проведенні функціонального аналізу), коли по варіантам, які підлягають розгляду, недостатньо інформації для проведення кількісної характеристики властивостей прилада, що узагальнює показник рівня якості (коефіцієнт технічного рівня К.т.у) розраховується для кожного варіанта інженерного рішення по формулі:

$$K_{т.у} = \sum_{i=1}^n \Phi_{ij} \cdot B_{ij} \quad (1)$$

де Φ_{ij} – коефіцієнт вагомості i -го параметра якості j -го варіанта, в купі прийнятих для розгляду, параметрів якості;

B_{ij} – оцінка i -го параметра якості j -го варіанта виробу в балах;

n – кількість параметрів виробу, які прийняті для оцінки.

Кращим варіантом інженерного рішення виробу із прийнятих на розгляд є варіант, якому відповідає найбільше значення коефіцієнта технічного рівня:

$$K_{т.у.}^{opt} = \max_{1 \leq j \leq K} K_{т.у.}^j \quad (2)$$

де K – кількість варіантів технічних рішень, які були прийняті для порівняння оцінки.

При наявності кількісної характеристики властивостей виробу коефіцієнт технічного рівня можна визначити по формулі:

$$K_{т.у.} = \sum_{i=1}^n \Phi_i \cdot g_i \quad (3)$$

де g_i – відносний (одиничний) i -й показник якості.

Обумовлення системи параметрів виробу і визначення відносних показників якості.

На основі даних про зміст основних функцій, які повинні реалізувати виріб, вимог замовника стосовно цього виробу, а також умов, які характеризують експлуатацію виробу, визначають основні параметри виробу, які будуть використані для розрахунку коефіцієнта технічного рівня виробу.

Проведемо порівняльний аналіз вже існуючого фотоелектричного автоколіматора АКУ-0.2 і того, що розглядається в даній роботі:

Параметр	Базовий АКУ – 0.2	Використовуваний	Відносний показник якості
Точність при однокоординатних вимірах	1.5	0.1	1.18
Збільшення, карат	58	1	1.76
Габарити, мм ³	10084750	145000	0.84
Маса, кг	4.6	1	0.66
Напруга живлення, В	220	2200	0.1
Чутливість	1	4	0.6

Порівняння проводимо по шістьом параметрам.

Перший параметр – це точність вимірювання при однокоординатних вимірах. Даний параметр є дуже важливим для автоколіматорів. З однієї сторони він визначає швидкість спрацьовування прилада, а з іншої сторони від цього параметра залежить і чутливість. Не дивлячись на те, що чутливість в попередній таблиці замикає останню строку, вона є не менш значимим параметром аніж точність вимірювання. В автоколіматорі, що був використаний, для збільшення чутливості застосовується фотоелектронний помножувач, який підвищує чутливість на декілька порядків. Але наявність високої напруги яким підживлюється ФЕУ є єдиним недоліком автоколіматора, що використовується. Так як прилади які розглядаються є високоточними, то

значною проблемою є мініатюрність прилада. Саме тому вибір конкретного технологічного рішення визначає важливість такого параметра як габаритні розміри. Наступним параметром слугує маса прилада, який також визначає проблему мініатюрності. Окрім того він також визначає такий важливий показник як металоємність. Передостаннім параметром є збільшення. Даний параметр впливає на чутливість прилада, тому його огляд є не менш важливим. Останній параметр являє собою напругу живлення. Даний параметр визначає проблему енергозбереження, тому він також є доволі важливим і бере участь в порівняльному аналізі виробу.

Таким чином перед проєктувальниками стоїть проблема вибору відношення параметрів, що головним чином визначає призначення виробу, тобто, знизивши вимоги одних параметрів, можна досягти вимог інших параметрів.

Відносні (одиничні) показники якості будь-якого параметра g_i , якщо вони знаходяться в лінійній залежності, визначаються по формулам:

$$g_i = \frac{P_{mi}}{P_{bi}} \quad (4) \quad \text{або} \quad g_i' = \frac{P_{bi}}{P_{mi}} \quad (5)$$

Формула (4) використовується при розрахунку відносних показників якості, коли збільшення величини приводить до покращення якості виробу, і формула (5) – коли зі збільшенням величини параметра якість виробу погіршується.

Як видно із таблиці 1, тільки відносні показники параметрів збільшення і напруги живлення є менше одиниці. Це обумовлено тим, що в першому випадку задачі отримання більшого збільшення тут не було, так як автоколіматор виконує певну функцію (функцію прилада, що спрацьовує), що не потребує значного показника параметра збільшення.

В іншому випадку, що пов'язаний з відносним показником якості по напрузі і який також менше одиниці, пояснюється, що автоколіматор, який містить ФЕУ, підживлюється високою напругою. В цьому випадку можна спостерігати як показник якості по напрузі погіршується, а показник якості по чутливості збільшується, що в свою чергу різко покращує виріб.

Визначення коефіцієнтів вагомості параметрів.

Вагомість кожного параметра, в загальній кількості, параметрів що розглядаються при оцінці, визначається методом попарного порівняння. Оцінку проводить експертна комісія, кількість членів якої повинна дорівнювати

непарному числу (не менше 7). Експерти повинні бути спеціалістами в даній предметній галузі.

Визначення коефіцієнтів вагомості передбачає:

- визначення ступеня важливості параметрів шляхом присвоєння їм різних рангів;
- перевірка придатності експертних оцінок для подальшого використання;
- виявлення і оцінювання попарного пріоритету параметрів;
- обробку результатів і виявлення коефіцієнта вагомості (Φ_i).

Після детального обговорення і аналізу, кожен експерт оцінює степінь вагомості параметрів шляхом присвоєння рангів. Результати експертного присвоєння рангів представленні в таблиці 2:

Назва параметра	Ранг параметра по оцінці експерта											Сума рангів Ri	Відхилення Δi	Δi ²
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Точність	6	5	6	5	6	6	6	5	6	6	5	62	23.5	552.25
Чутливість	4	6	5	6	4	5	5	6	5	5	6	57	18.5	342.25
Габарити	5	4	3	4	5	4	4	3	4	4	4	44	-5.5	30.25
Маса	3	3	4	3	2	3	3	4	2	2	3	32	-6.5	42.25
Збільшення	2	1	2	2	1	1	1	2	3	1	1	17	-21.5	462.25
Напруга	1	2	1	1	3	2	2	1	1	3	2	19	-19.5	380.25
Σ	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	231	0	1809.5

Перед подальшою обробкою перевіримо суму рангів по кожному стовпці (2-12), яка визначається по формулі:

$$\Sigma = \frac{n(n+1)}{2}, \quad (6)$$

Де n – кількість оцінюваних параметрів.

В даному випадку $n=6$, тоді:

$$\Sigma = \frac{6(6+1)}{2} = 21$$

Визначення можливості використання результатів рангування параметрів для подальших розрахунків проводять на основі розрахунку коефіцієнта конкордації (погодження) експертних оцінок. Для цього:

- 1) Визначаємо суму рангів кожного показника (по строкам):

$$R_i = \sum_{j=1}^N r_{ij} \quad (7)$$

Де r_{ij} – ранг i -го параметра, визначений j -им експертом,
 N - кількість експертів.

Результатом розрахунку по формулі (7) наведені в таблиці 2.

Далі проводимо перевірку загальної суми рангів, яка повинна рівнятися:

$$R_{ij} = \frac{N \cdot n(n+1)}{2} \quad (8)$$

В даному випадку:

$$R_{ij} = \frac{11 \cdot 6 \cdot (6+1)}{2} = 231$$

- 2) Розраховуємо середню суму рангів (T) по формулі:

$$T = \frac{1}{n} R_{ij} \quad (9)$$

$$T = \frac{1}{6} \cdot 231 = 38,5$$

- 3) Визначаємо відхилення суми рангів кожного параметра (R_i) від середньої суми рангів (T):

$$\Delta_i = R_i - T \quad (10)$$

Результати розрахунків представлені в таблиці 2.

Сума розрахунків по всім параметрам повинна дорівнювати нулю, що ми і отримали.

- 4) Розрахуємо квадрат відхилень по кожному із параметрів (Δ_i^2) і суму квадратів відхилень:

$$S = \sum_{i=1}^n \Delta_i^2 \quad (11)$$

Підсумувавши, отримуємо $S = 1809.5$

- 5) Визначимо коефіцієнт погодження (конкордації) по формулі:

$$W = \frac{12 \cdot S}{n^2(n^2 - 1)} \quad (12)$$

$$W = \frac{12 \cdot 1809.5}{11^2 \cdot (11^2 - 1)} = 0,86$$

Коефіцієнт конкордації може приймати значення в інтервалі $0 \leq W \leq 1$. У випадку повної конкордації поглядів експертів $W = 1$. Чим більша різниця між поглядами експертів, тим меншою буде W . Розрахована величина W порівнюється з нормативною W_n . Якщо $W_n \leq W$, визначені дані вважаються дійсними для дослідження. Для електровимірювальних і радіотехнічних виробів $W_n = 0.77$.

Таким чином, так як $W_n \leq W$, ми можемо зробити висновок що визначенні дані придатні для використання в подальшому використанні.

Використовуючи отримані від кожного експерта результати рангування параметрів, проводимо попарні порівняння всіх параметрів і результати записуємо в таблицю 3.

Параметри	Експерти											Сумарна оцінка	Численні значення коефіцієнти переваги (A _{ij})
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
x1 і x2	>	<	>	<	>	>	>	<	>	>	<	>	1.5
x1 і x3	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	1.5
x1 і x4	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	1.5
x1 і x5	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	1.5
x1 і x6	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	1.5
x2 і x3	<	>	>	>	<	>	>	>	>	>	>	>	1.5
x2 і x4	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	1.5
x2 і x5	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	1.5
x2 і x6	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	1.5
x3 і x4	>	>	<	>	>	>	>	<	>	>	>	>	1.5
x3 і x5	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	1.5
x3 і x6	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	1.5
x4 і x5	>	>	>	>	<	>	>	>	<	>	>	>	1.5
x4 і x6	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	1.5
x5 і x6	>	<	>	>	<	<	<	>	>	<	<	<	0.5

На даний момент найчастіше використовують наступні значення коефіцієнтів переваги (A_{ij}):

$A_{ij} = 1.5$ при $x_i > x_j$;

$A_{ij} = 1$ при $x_i = x_j$;

$A_{ij} = 0.5$ при $x_i < x_j$.

Де x_i і x_j – параметри, які порівнюються між собою.

На основі чисельних даних A_{ij} таблиці 3 складають квадратну матрицю

$A = \|A_{ij}\|$ (таблиця 4)

x _i	Параметри x _j						Перша ітерація		Друга ітерація		Третя ітерація	
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	В _i	Ф _i	В _i '	Ф _i '	В _i ''	Ф _i ''
x ₁	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	8.5	0.23	51.2 5	0.24	291.625	0.243
x ₂	0.5	1	1.5	1.5	1.5	1.5	7.5	0.203	43.2 5	0.21	244.375	0.204
x ₃	0.5	0.5	1	1.5	1.5	1.5	6.5	0.176	36.2 5	0.171	204.625	0.171
x ₄	0.5	0.5	0.5	1	1.5	1.5	5.5	0.149	30.2 5	0.143	171.375	0.143
x ₅	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1.5	4.5	0.122	25.2 5	0.119	143.625	0.12
x ₆	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1	4.5	0.122	25.2 5	0.119	143.625	0.12
Всього							37	1.002	211. 5	1.002	1199.25	1.001

Розрахунок вагомості (пріоритетності) кожного параметра Ф_i проводиться по наступним формулам:

$$\varphi_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^n b_i} \quad (13)$$

$$\text{де } b_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (14)$$

Де b_i – вагомість i -го параметра по результатам оцінок всіх експертів, визначається як сума значень коефіцієнтів переваги (A_{ij}) даних всіма експертами по i -му параметру.

Відносні оцінки вагомості (φ_i) розраховують декілька разів, поки наступне значення буде незначно відрізнятись від попереднього (менше 5%). На другу і наступні ітерації значення коефіцієнта вагомості (φ_i') розраховується наступним чином:

$$\varphi_i' = \frac{b_i'}{\sum_{i=1}^n b_i'} \quad (15)$$

Де b_i' визначається як:

$$b_i' = a_{i1} \cdot b_1 + a_{i2} \cdot b_2 + \dots + a_{in} \cdot b_n \quad (16)$$

Таким чином, як видно із таблиці 4, найбільш важливими, на думку експертів, є параметри 1 і 2 (точність і чутливість). Саме ці параметри були покращені в наступному автоколіматорі відносно базового.

Тепер можна вичислити коефіцієнт технічного рівня прилада:

$$K_{т.р.} = \sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot g_i$$

Або

$$K_{\text{п}} = 1,18 \cdot 0,243 + 0,84 \cdot 0,204 + 0,16 \cdot 0,171 + \\ + 0,66 \cdot 0,143 + 1,76 \cdot 0,12 + 0,1 \cdot 0,12 = 0,789$$

Якщо з досліджуваним автоколіматором буде порівнюватися інший, новий, прилад, то кращим інженерним рішенням буде те, для якого к.т.п. буде більшим.

2.2. Зміна затрат на науково-дослідницькі та дослідно-конструкторські роботи.

Кошторис розробляється виконавцем роботи на основі календарного плану виконання робіт і затверджується замовником або органом, який забезпечує фінансування роботи. Затрати, які включаються в собівартість, групують відповідно до їх економічного утримання.

Матеріальні затрати (з урахуванням собівартості оборотних відходів)

В склад цього елемента входять: вартість сировини і матеріалів, комплектуючі і напівфабрикати, робота і послуги продовольчого характеру, які представляються іншими підприємствами.

Розрахунки наведені в таблицях 1 і 2.

Назва матеріала	Стандарт, технічні умови	Одиниця виміру	Кількість	Ціна одиниці, грн	Сума, грн
Дюралюміній D16T		кг	0.1	6	0.6
Сталь 45	ГОСТ 1412-81	кг	0.1	1	0.1
Провід	МГШВ – 0.14	м	10	1.2	12
Винт	M2 2x15	шт	10	1	10
Папер	A4	кг	1	30	30
Скріпки	-	упаковка	1	1.3	1.3
Гумки	-	шт	2	0.6	1.2
Авторучки	-	шт	5	5	25
Олівці	-	шт	8	1.5	12
Всього					92.2
Невраховані матеріали (10%)					9.22
Всього					101.42
Транспортно-заготівельні затрати (10%)					9.22
В сумі					110.64

Назва виробу	Стандарт, технічні умови	Кількість, одиниці	Ціна одиниці	Сума, грн
Фотоелектронний множник	ФЕУ-120	1	120	120
Колімоване джерело світла	КИС-15	1	35	35
Дзеркало		2	10	20
Призма Кестерса		1	15	15
Всього				190
Невраховані покупні вироби (10%)				19
Всього				209
Транспортно-заготівельні затрати (10%)				19
В сумі				228

Затрати по оплаті праці

Сюди можна віднести затрати по виплаті основної і додаткової заробітної плати виконавців, які були розраховані відповідно до систем оплати праці, прийнятими в організації, включаючи всі види матеріальних і грошових доплат.

Результати розрахунків основної заробітної плати виконавців представлені в таблиці 3.

	Місячний оклад, грн	Денна зар. плата, грн	Трудоємність	Основна зар. Плата, грн
Керівник групи	11000	120	42	13520
Інженер	9000	100	21	11000
Токар	10000	80	10	11680
Юстувальник	7500	70	2	8970
Всього				45170

Додаткова заробітна плата (премії, одноразові заохочення і т.д.) розраховується згідно норматива, який встановлює підприємство і який становить 20-40% від основної заробітної плати. Тобто фонд оплати праці становитиме:

$$\text{ФОП} = 45170 \text{ грн} + 0.3 * 45170 \text{ грн} = 58721$$

Затрати на спеціальне устаткування.

В даному розділі розраховуються затрати на купівлю машин , приладів і іншого устаткування, яке необхідно. Розрахунки наведені в таблиці 4.

Назва устаткування	Стандарт, технічні умови	Кількість одиниць	Ціна, грн	Сума, грн
Цифровий вольтметр	B1-12	1	2000	2000
Осцилограф		1	3000	3000
Всього				5000
Транспортно-заготівельні затрати (10%)				500
Всього				5500

Затрати на службові відрядження.

Відрядження не передбачені.

Експериментально – виробничі затрати

Ця частина враховує затрати по оплаті машинного часу, пов'язаного з підготовкою і налагодженням програм.

Тривалість роботи на ЕВМ, год.	Вартість 1 години, грн	Сума затрат, грн
15	33	495

Накладні затрати

Затрати розраховуються по нормативу, встановленому підприємством по відношенню до заробітної плати (67%)

$$58721 * 0.67 = 39343.07$$

Прибуток

Прибуток визначається у відсотках від суми затрат (прибуток = 10%).

$$\Pi = 0.1 * (495 + 5500 + 45170 + 228 + 110.64) = 5150.364 \text{ грн}$$

Загальні затрати

$$5150.364 + 51503.64 = 56654 \text{ грн}$$

Податок на додану вартість (ПДВ)

ПДВ розраховується в розмірі 20% від загальних витрат:

$$0.2 * 56654 = 11330.8$$

Повна вартість роботи

Повна вартість роботи, виконана власними силами розраховується:

$$11330.8 + 56654 = 67984.8$$

Висновок: В результаті проведення науково-дослідницької дослідницько-конструкторської роботи було визначено коефіцієнт технічного рівня К.т.у = 1.56, використаного виробу, який значно перевищує К.т.у. базового рівня.

На основі цього замовник згоден виплатити повну вартість проведення робіт – 67984.8 грн.

РОЗДІЛ III. ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО НУЛЬ-ІНДИКАЦІЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ АВТОКОЛІМАЦІЙНОГО НУЛЬ-ІНДИКАТОРА.

3.1. Опис конструкції стенда.

На оборотну платформу з розміщеними на ній многогранною призмою, встановлюється досліджуваний гіроскоп. На нерухомій частині платформи кріплять нуль-індикатор. Осі формування і погодження сигналів розташовані на стенді. Також на стенді присутній цифровий вольтметр і осцилограф для відповідних спостережень. ЕВМ стоїть поряд зі стендом для зручності.

3.2. Опис принципу дії стенда.

При запуску поворотної платформи гіроскоп, що досліджується виробляє імпульс. Ці імпульси вважаються за час прилада оборота обертаючої платформи на кут 2π (360°) Всі грані многогранної призми заклеєні, окрім одної, на яку може бути наклеєно плоске дзеркало і від якої буде відбиватися падаючий промінь.

Початок і кінець відліку визначається нуль-індикатором наступним чином: в момент включення нуль-індикатора промінь колімаційного об'єкта на візерній осі проходить через призму Кестерса і потрапляє на поворотну платформу, а саме на многогранну призму. При кожному співпадинні візерній осі нуль-індикатора з променем, що відбився, який проходить через призму Кестерса і з площею поверхнісних зеркал потрапляє в протоелектронний помножувач, відбувається активація нуль-індикатора, тобто, або ввімкнення, або вимкнення відрахунку імпульсів.

Таким чином відбувається вимірювання числа імпульсів за період обертання рухомої платформи.

Відповідно, масштабний коефіцієнт гіроскопа визначається як $K = N/2\pi$, де N – кількість імпульсів за період 2π .

3.3. Загальні вимоги до нуль-індикації кутових вимірювань.

З виходу оптичного нуль-індикатора в момент співпадиння його візерній осі з нормалю до відбиваючої поверхні (грані многогранної призми), що обертається на обертальній платформі, знімається імпульсний сигнал, форма якого визначається тіком нуль-індикатора. Формування границь інтервала просумовування відбувається в момент часу, коли значення імпульсного сигналу стає рівним конкретному рівню, що задається пороговим приладом. Спрацювання порогового прилада відбувається або по фронту імпульсного сигналу, або по фронту сигналу, що отримується після диференціювання

початкового імпульсного сигналу. Другий варіант є більш продуктивним, так як дозволяє працювати поблизу вершини імпульсного сигналу, де похідна зазвичай має максимальну крутизну. Однак цей варіант менш перешкодостійкий. В будь-якому випадку, і робота по фронту імпульсного сигналу, і робота по фронту похідної пов'язана з появою погрешностей, через те, що вихідний сигнал нуль-індикатора представляє собою суміш детермінованого імпульсного-сигнала і адаптивного шуму. Задача визначення погрешностей нуль-індикації кутових напрямків може бути приведена, в даному випадку, до однієї із задач пересічень випадкового процесу. Будемо вважати, що на виході нуль-індикатора розташовується суміш детермінованого імпульсного сигналу $U(t)$ і шуму $n(t)$, що представляє собою стаціонарний гаусовий диференціальний процес малої, порівняно з сигналом, інтенсивності. Оскільки нас цікавить залежність сигналу в просторі кутових переміщень, перейдемо від часових залежностей до кутових, виходячи із квазопостійності швидкості обертання платформи, тобто, будемо розглядати сигнали $U(\Phi)$, $n(\Phi)$, де Φ – поточне кутове положення, що займається поворотною платформою. Тоді знайдемо дисперсію нуль-індикації по куту у вигляді:

$$D_{\varphi} = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} (\varphi - \bar{\varphi})^2 p(\varphi) d\varphi, \quad (17)$$

Де $p(\Phi)$ – ймовірність спрацювання першого приладу, яка рівна:

$$p(\varphi) = \begin{cases} H_0 p_0 (H - U(\varphi)), & \varphi_1 < \varphi < \varphi_2, \\ 0, & \varphi < \varphi_1, \varphi > \varphi_2, \end{cases} \quad (18)$$

$H_n(x)$ – нормальна ймовірність, H – рівень спрацювання першого приладу,

$$H_0' = \left. \frac{dH(\varphi)}{d\varphi} \right|_{\varphi = \varphi_0} \quad (19)$$

Φ_0 – кут спрацювання при відсутності шуму. Кутові положення Φ_1 і Φ_2 визначають кутовий інтервал, всередині якого ймовірність спрацювання близька до одиниці і можуть бути знайдені із системи рівнянь:

$$\begin{aligned} \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} p(\varphi) d\varphi &= 1, \\ \bar{\varphi} &= \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} \varphi p(\varphi) d\varphi, \\ \int_{\Phi_1}^{\bar{\varphi}} p(\varphi) d\varphi &= \int_{\bar{\varphi}}^{\Phi_2} p(\varphi) d\varphi. \end{aligned} \quad (20)$$

Будемо вважати для простоти $U(\Phi)$ сигналом трикутної форми

$$U(\varphi) = \begin{cases} U_0(1 + \frac{\varphi - \varphi_0}{\Delta\varphi}), & \varphi_0 - \frac{\Delta\varphi}{2} < \varphi \leq \varphi_0 \\ U_0(1 - \frac{\varphi - \varphi_0}{\Delta\varphi}), & \varphi_0 \leq \varphi < \varphi_0 + \frac{\Delta\varphi}{2} \end{cases} \quad (21)$$

Де φ_0 – кутове положення, що відповідає вершині імпульса.

Тоді крутизна сигналу дорівнює:

$$U_0' = \frac{2U_0}{\Delta\varphi} \quad (22)$$

А ймовірність $p(\Phi)$ при $m\pi = 0$ має вигляд:

$$P(\varphi) = \frac{2U_0}{d_0 \sqrt{2\pi} D_\varphi} \exp\left[-\frac{(H - U_0 - U_0 \frac{\varphi}{d_0})^2}{2 D_\varphi}\right] \quad (23)$$

Розв'язуючи систему, знаходимо середній кут спрацювання Φ , що рівний:

$$\bar{\varphi} = \frac{H - U_0}{2U_0} d_0 \quad (24)$$

Підставляємо наведенні вирази, знаходимо дисперсію спрацювання порогового приладу по куту у вигляді:

$$D_{\varphi} = \frac{d_0^2 D_\varphi}{8U_0^2} \quad (25)$$

Погрішність спрацювання пропорційна кутовій ширині імпульса L_0 і зворотньопропорційна відношенню сигнал/шум, що представляється природнім. Аналогічний результат можна отримати, використовуючи принцип максимума правдоподібності, що приміняється при оцінці часу приходу імпульса в радіолокаційних системах. Дисперсію часу приходу імпульса, слідуючи вказаній роботі, можна визначити як:

$$D_{\tau} = \frac{1}{\beta_{\text{ш}} \varphi} \quad (26)$$

Де, g – відношення сигнал/шум, B_u – параметр, визначений формулою імпульса:

$$B_u = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{d u(t)}{dt}\right)^2 dt}{\int_{-\infty}^{\infty} u^2(t) dt} \quad (27)$$

Оскільки нас цікавлять залежності від кута і вважаючи швидкість обертання квазіпостійною, змінюємо в 1.10, 1.11 t на φ . Нехай імпульс на виході нуля-індикатора має колоподібну форму:

$$u(\varphi) = \exp\left[-\frac{\varphi^2}{2\sigma_0^2}\right] \quad (28)$$

Де σ_0 – кутова ширина імпульса на рівні $e^{-\pi/4}$. Тоді відношення (1.10) приймає вигляд:

$$D_{\Delta\varphi} = \frac{\sigma_0^2}{\pi g} \quad (29)$$

Отже, як і в результатах аналізу, що оснований на вирішені задачі про перетин гаусового випадкового процесу, отримуємо дисперсію, пропорційну відношенню сигнал/шум.

При складанні вимог до нуля-індикатора необхідно враховувати деякі технічні аспекти. Многогранні призми, що підлягають атестації, мають більшу або меншу пірамідальність, що вимагає від нуля-індикатора значного послаблення чутливості по другій осі. В іншому випадку, пірамідальність приводить до коливань амплітуди вихідних імпульсів нуля-індикатора, що відповідають різним граням призми і, відповідно, додатковій погрішності вимірів. Значне значення для нуля-індикаторів також має стійкість до вібрацій, так як, наприклад, лазерний гоніометр має в своєму складі рухомі частини. Тому важливими вимогами є жорсткість конструкції і малі габарити нуля-індикатора.

3.4. Розробка автоколімаційного нуля-індикатора.

Виходячи із сформованих вимог до нуля-індикаторів, розглянемо варіанти його побудови. Як було сказано раніше, традиційним методом створення нуля-індикаторів є використання автоколімаційних систем. Висока чутливість автоколіматора до кутових переміщень дозволяє в ряді випадків отримати на його основі нуля-індикатор з високими точносними характеристиками. Разом з цим, автоколімаційному нуля-індикатору притаманні значні недоліки, і у випадку використання його в лазерному гоніометрі до таких недоліків відноситься чутливість до кутових переміщень по двом ортогональним осям. Інший недолік пов'язаний принципіальними обмеженнями, що накладуються на мінімальну ширину імпульса, що формується нуля-індикатором в динамічному режимі. Зменшення кутової ширини імпульса L_0 в

автоколімаційному нуль-індикаторі можлива лише за рахунок зменшення ширини щілини $h_{щ}$ або збільшенню фокусної відстані об'єктива F :

Внаслідок цього зменшення кутової ширини імпульса супроводжується зниженням амплітуди імпульса і відповідно пониженням відношення сигнал/шум або збільшенням габаритів прилада.

$$\alpha_0 = \arctg \frac{h_{щ}}{F} \quad (30)$$

Підвищення точності автоколімаційного нуль-індикатора може бути досягнуто заміною задаючої і аналізуючої щілин на маски, області прозорості які чергуються по псевдовипадковому закону. Даний спосіб підвищення точності оснований на відомому в радіотехнічних системах методі «стиску» складних сигналів, отриманих при кодуванні комплексних амплітуд у відповідності з конкретною кодовою послідовністю. У даному випадку елементи кодової послідовності, що відповідають прозорій і непрозорій ділянці маски, повинні приймати значення 1 і 0., відповідно. При цьому вихідний сигнал нуль-індикатора визначається кореляційною функцією псевдовипадковою послідовністю :

$$R_m = \sum_{k=0}^{N_p-1} a_k \cdot a_{k+m}, \quad m=0, \dots, N_p-1 \quad (31)$$

Де N_p – вираз в числі елементів довжини послідовності.

Амплітуда кореляційної функції для послідовності, що містить n елементів, які дорівнюють одиниці, в n раз більше амплітуди кореляційної функції послідовності з одним елементом. Ширина центрального струму кореляційної функції в обох випадках однакова, що дозволяє говорити про значне підвищення крутизни сигналу у випадку використання псевдовипадкової послідовності і відповідному підвищенні відношення сигнал/шум. Можлива реалізація задаючої і аналізуючої масок, які знеструмлюють елементи кодової послідовності зі значеннями -1 і 1 . Для цього необхідно щоб сума елементів, яка створює псевдовипадкову послідовність, була виконана у вигляді взаємоортогональних поляризаторів.

При виборі конкретної кодової послідовності необхідно враховувати наступні два моменти: по-перше, бічні тіки кореляційної функції кодової послідовності повинні бути мінімальними, щоб виключити хибні спрацювання порогового прилада, тобто величина $[\max R_{(m)} / R_{(0)}]$ повинна бути максимальною; по-друге, відношення максимуму кореляційної функції до довжини послідовності, що називається коефіцієнтом заповнення, повинно бути найбільшим, так як ця величина безпосередньо пов'язана з відношенням сигнал/шум і повина приймати по можливості максимальне значення.

З точки зору першої вимоги найкращими є послідовності з властивостями «не більше одного «співпадіння»». В роботі описана методика розрахунку таких послідовностей. Відносний рівень бокових тіків кореляційної функції не перевищує величину $1/n_e$, де n_e – число одиниць в послідовності. Однак, ці

послідовності мають низький коефіцієнт заповнення, тому їх використання в якості базових для побудови маски є недоцільним.

Існує клас двоїчно-кодованих послідовностей, в яких коефіцієнт заповнення більший ніж у послідовностей з властивістю «не більше одного співпадіння». Недоліком таких послідовностей є те, що для них $R_{(m)} > 1$ при $m \neq 0$. Для оцінки величини максимального бічного тіка встановили зв'язок між кореляційною функцією $R_{(m)}$ послідовності $t_k \in \{0,1\}$, $k = 0,1, \dots, N_{\pi} - 1$ і кореляційною функцією $R_{\pi}(m)$ періодичної послідовності $U_{ni} \in \{0,1\}$, $i = -1, 0, 1, \dots, N_{\pi} - 1, \dots$, де

$$R_{\pi}(m) = \sum_{i=0}^{N_{\pi}-1} t_i t_{(i-m)} \quad ((k)) = (k) \pmod{N_{\pi}} \quad [29] : \quad (32)$$

$$R_{\pi}(m) = R(m) + R(N_{\pi} - m)$$

Виходячи з цього можна зробити висновок, що при знаходженні N-позиційного коду, в якому $\max R_{(m)} = 1_n$, $m \neq 0$ із попередніх формул слідує, що у періодичної послідовності:

$$\max |R_{\pi}(m)| \leq 2l_n, \quad m \neq 0 \pmod{N_{\pi}}. \quad (33)$$

Тому шуканий код можна знайти шляхом відбору періодів періодичних кодів з заданим $\max |R_{\pi}(m)| \leq 2l_n$, $m \neq 0$ або шляхом циклічної перестановки символів

відповідних кодів, тобто кодів, що співпадають з одним періодом періодичного кода.

В теорії дискретних сигналів детально розглядаються послідовності $\{\mu_k\}$, символи яких приймають значення $-1, 1$.

Періодичні коди t_k і μ_k пов'язані співвідношенням

$$t_k = \frac{1 + j\mu_k}{2} \quad (34)$$

Введення позначень для бокового тіка кореляційної функції періодичного кода $\{\mu_k\}$

$$R_{\mu}(m) = \sum_{i=0}^{N-1} \mu_i \mu_{(i+m)} \quad (35)$$

Отримаємо для $R_n(m)$

$$R_n(m) = \sum_{i=0}^{N-1} t_i t_{(i+m)} = \frac{1}{4} \left[R_{\mu}(m) + \sum_{i=0}^{N-1} \mu_i + \sum_{k=0}^{N-1} \mu_{k+N} \right] \quad (36)$$

Таким чином, забезпечення критерія мінімакса зводиться до вибору такої послідовності $\{\mu_k\}$, в якій права частина мінімальна. Серед двійкових кодів такої умові повніше відповідають M -послідовності над полем Галуа $F(2^n)$ ($n > 1$). Коефіцієнт заповнення M -послідовності з точки зору мінімальної

величини коефіцієнта заповнення і виконання критерія мінімакса можна вважати найкращими.

Наведений метод побудови псевдовипадкової маски, що задовольняє вказані умови, був реалізований для декількох значень довжини послідовностей.

Оптимальні послідовності знаходились методом прямого перебору. На рис. 2.1 наведений розрахунок кореляційної функції M – послідовності з числом елементів

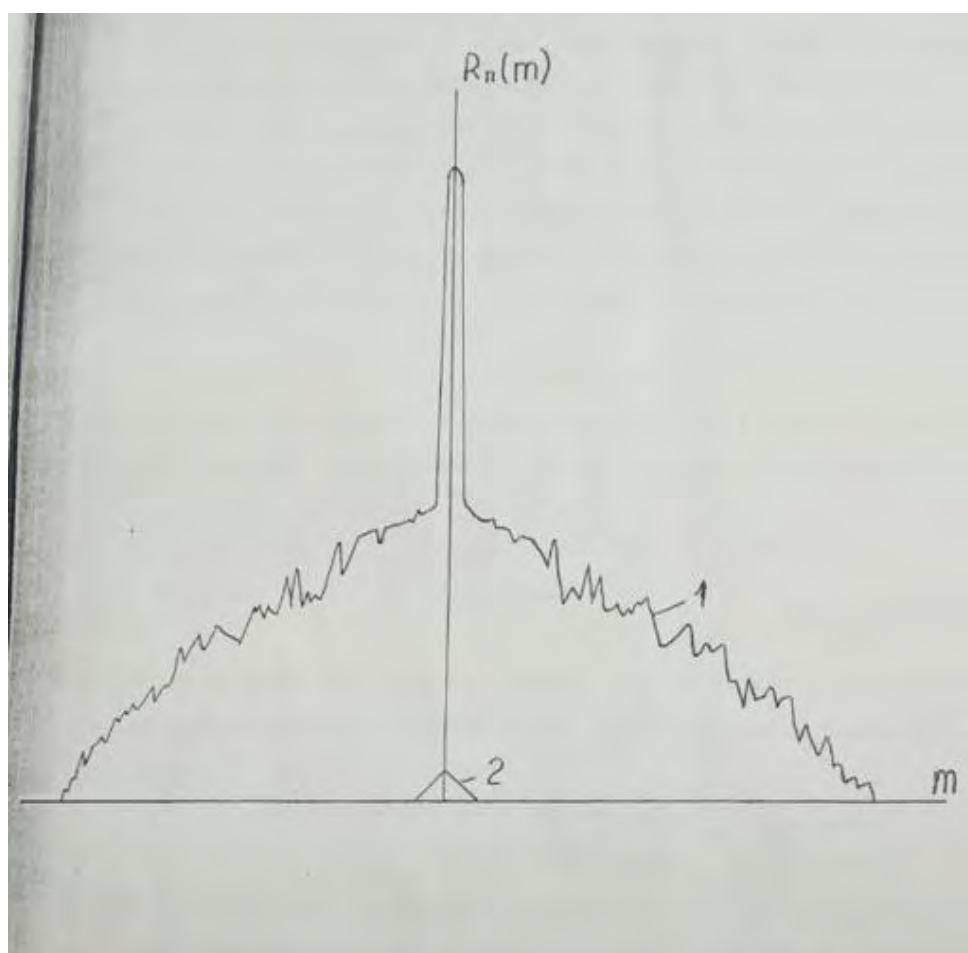


Рис.3.1 Кореляційна функція M – послідовності, що характеризує вихідний сигнал нуль-індикатора з псевдовипадковою маскою (крива 1) і одиночною щілиною (крива 2)

$N_n = 63$ (крива 1). Для порівняння, на цьому ж рисунку приведена кореляційна функція послідовності із єдиного елемента, що відповідає масці з однією щілиною (крива 2).

Оцінимо похибки нуль-індикації автокореляційного нуль-індикатора з псевдовипадковою маскою. Вираз $D_{\Delta\phi} = L_o^2 / \pi q$ показують, що дисперсія нуль-індикації зворотно пропорційна відношенню сигнал/шум. Для проведення оцінки будемо вважати джерелом шуму в нуль-індикаторі дробовий ефект фотоприймача, в якості якого візьмемо фотоелектронний помножувач. В цьому випадку відношення сигнал/шум можна записати у вигляді:

$$q = \frac{i_\phi}{2e(1+B)f_n} \quad (37)$$

Де e -заряд електрона, B – константа, i_ϕ – середнє значення фотона, f_n – прямі пропускання. Прямі пропускання системи повинні задовольняти умову:

$$f_n > \frac{\Omega}{\Delta\phi} \quad (38)$$

Тоді замість $D_{\Delta\phi} = L_o^2 / \pi q$ отримаємо:

$$D_{\Delta\phi} < \frac{\Delta\phi 2e(1+B)\Omega}{\pi i_\phi} \quad (39)$$

Виходячи з отриманої оцінки можна записати відношення похибок нуль-індикації для нуль-індикатора з маскою і нуль-індикатора щілини у вигляді:

$$\frac{(D_{\text{ш}})_{\text{маска}}}{(D_{\text{ш}})_{\text{щілина}}} = \frac{(L_{\text{ш}})_{\text{щілина}}}{(L_{\text{ш}})_{\text{маска}}} \quad (40)$$

Виходячи з того, що фотострум визначається інтенсивністю світлового потоку, знаходимо для маски з довжиною послідовності $N_{\text{п}} = 63$, зменшення середньої квадратичної похибки нуль-індикації - в 5,5 рази.

Таким чином, використання кодованих послідовностей при розробці автоколімаційних нуль-індикаторів дозволяє значно зменшити випадкову складову похибки нуль-індикації. Тим не менш, такий підхід до побудови нуль-індикаторів не відсіює чутливість автоколімаційного нуль-індикатора по другій координаті і відповідного впливу на точність виміру пірамідальності многогранних призм, а також не дозволяє знизити габарити нуль-індикатора і його чутливості до вібрацій.

3.5. Принципи побудови інтерференційних нуль-індикаторів

На даний момент найбільш точними приладами, що використовуються в кутових вимірах, є інтерферометри. Відомі використання модифікованих інтерферометрів Тваймана – Гріна для прецизійних кутових вимірів в вимірювальній техніці і метрології, в γ - спектроскопії і інших областях, що потребують надвисокої точності вимірювань. Перспективним є використання

інтерференційних систем в цілях прецизійної нуль-індикації кутових напрямів в динаміці.

Розглянемо суперпозицію двох квазіколінеарних когерентних і рівних по інтенсивності світлових пучків, що вимірюють своє взаємне кутове положення. В результаті інтерференції пучків в площині, перпендикулярній напрямку розповсюдження, буде спостерігатися наступне розповсюдження інтенсивності осі X , що лежить в площині падіння пучків:

$$I(X, \alpha_p) = I_0 \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \alpha_p X\right) \right] \quad (41)$$

Де L_p – кут між напрямками розповсюдження пучків. Інтегральна реєстрація розподілення по всій ширині пучків d дає залежність результату реєстрації від кута у вигляді:

$$U(\alpha_p) = \int_{-d/2}^{d/2} I(X, \alpha_p) dX = U_0 \left\{ 1 + \frac{\sin\left(\frac{\pi}{\lambda} \alpha_p d\right)}{\frac{\pi}{\lambda} \alpha_p d} \right\} \quad (42)$$

Наведений вираз показує, що результатом інтегральної реєстрації інтерференційної картини є імпульс, вершина якого відповідає просторовому поєднанню хвильових фронтів пучків світла ($L_p = 0$). Відповідно, принцип інтегральної реєстрації може бути покладений в основу побудови інтерференційного нуль-індикатора. З виразу (3.2) слідує, що кутова ширина імпульса на виході реєструючого прилада зворотно пропорційна ширині світлових пучків d . Внаслідок цього зменшення кутової ширини імпульса

супроводжується збільшенням його амплітуди і відповідним підвищенням відношення сигнал/шум.

Для побудови інтерференційного нуль-індикатора необхідно виконати інтерферометр таким чином, щоб після відображення від контролюємої поверхні світлові пучки розходилися під кутом пропорційним куту поворота цієї поверхні. Аналіз інтерференційних схем показують, що такими властивостями володіють інтерферометри в яких інтерферуючі світлові пучки після відображення від контролюємої поверхні переживають нерівну кількість відображень, при чому різноманіття кількості відображень повина бути непарним числом. Такі перетворення можуть бути реалізовані різними варіантами побудови інтерференційних схем. Деякі із можливих різновидів таких схем показана на рис. 3.2. Треба зазначити, що в літературі є ряд робіт з описанням спроб створення інтерференційного нуль-індикатора. В одній із них розглянута інтерференційна схема, в якій прив'язка до положення контролюємої поверхні відбувалася по ахроматичній прямій, тобто робота інтерферометра здійснювалася по звичайній «щілинній» схемі без використання принципу інтегральної реєстрації інтерференційної картини. У зв'язку з цим, такому інтерференційному нуль-індикатору властиві недоліки, пов'язані з порівняно невисоким відношенням сигнал/шум і чутливістю до вібраціям елементів нуль-індикатора. Також бува запропонований інтегральний принцип реєстрації інтерференційної картини. Однак при реалізації принципу інтегральної реєстрації була використана схема зі світлоподіленням у вигляді призми-куба, із-за чого схема виявилася чутливою до кутових переміщень підконтрольного

дзеркала по другій координаті. В результаті ця схема виявилася практично непрацездатною. Варіанти побудови інтерференційного нуль-індикатора, наведені на рис. 3.2, в поєднанні з інтегральною реєстрацією інтерференційної картини мають малу кутову ширину імпульсу на виході нуль-індикатора, більшу величину відношення сигнал/шум, слабку чутливість до вібрацій елементів нуль-індикатора.

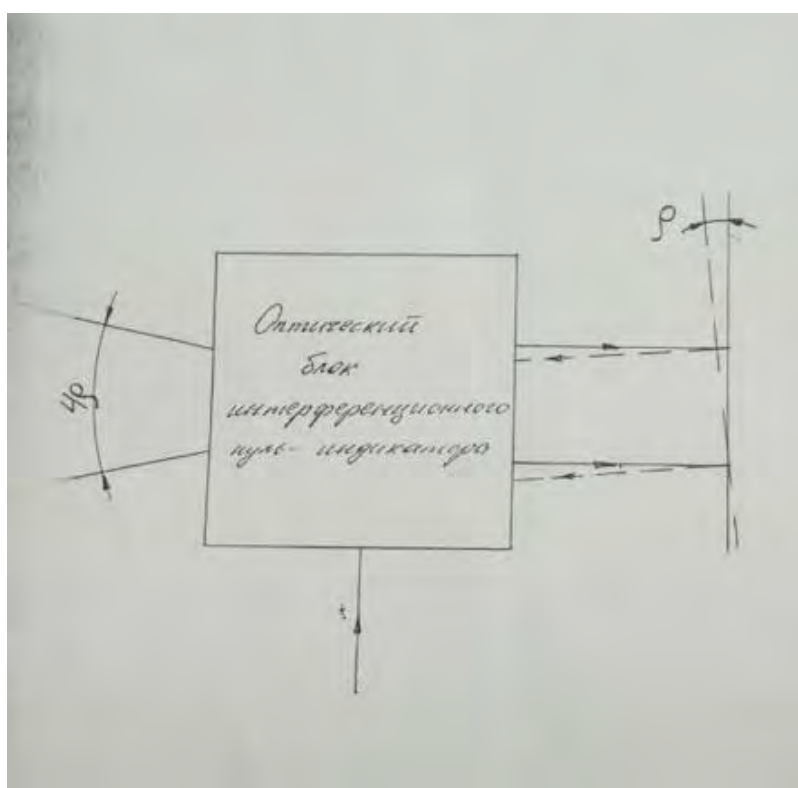


Рис. 3.2 Загальні вимоги до оптичного блоку інтерференційного нуль-індикатора

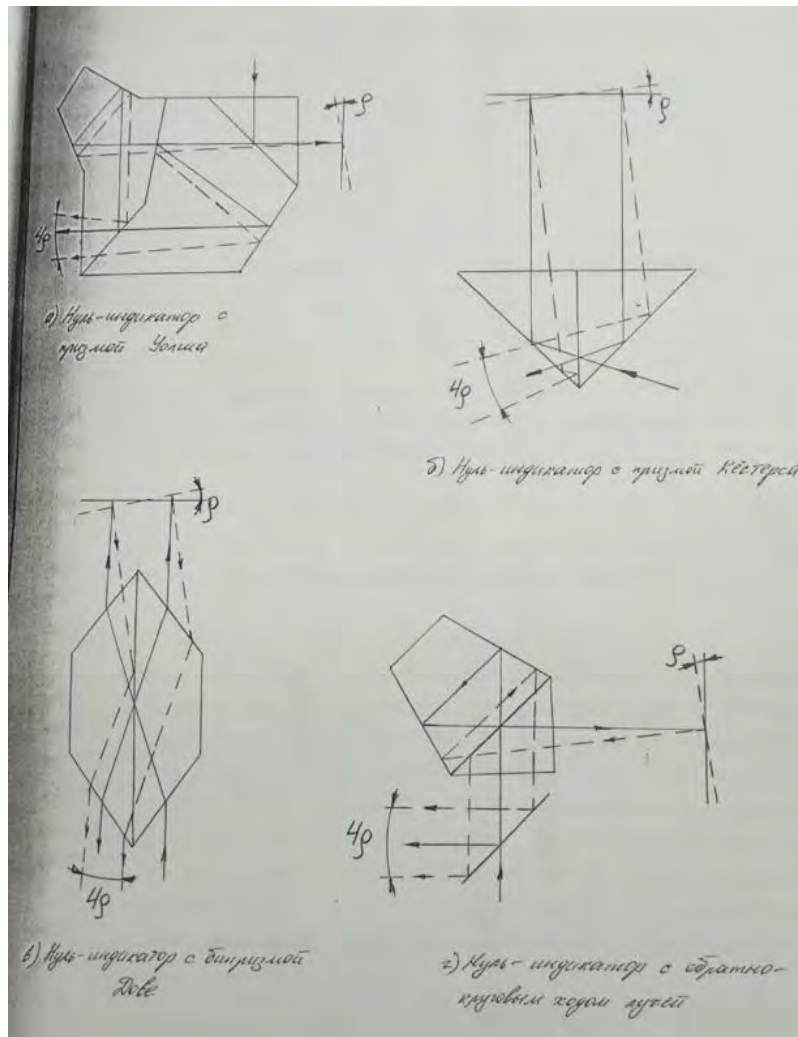


Рис. 3.3 Різноманітні варіанти побудови оптичного блока інтерференційного
нуль-індикатора

Розглянемо роботу інтерференційного нуль-індикатора. Аналіз проведемо на прикладі нуль-індикатора з призмою Кестерса, що не знижає отримані результати. Схема нуль-індикатора наведена на рис. 3.3, де:

- 1 – джерело світла;
- 2 – призма Кестерса;
- 3 – відбиваюча поверхня;
- 4 - апертура фотоприймача;

5 і 6 – інтерферуючі світлові пучки.

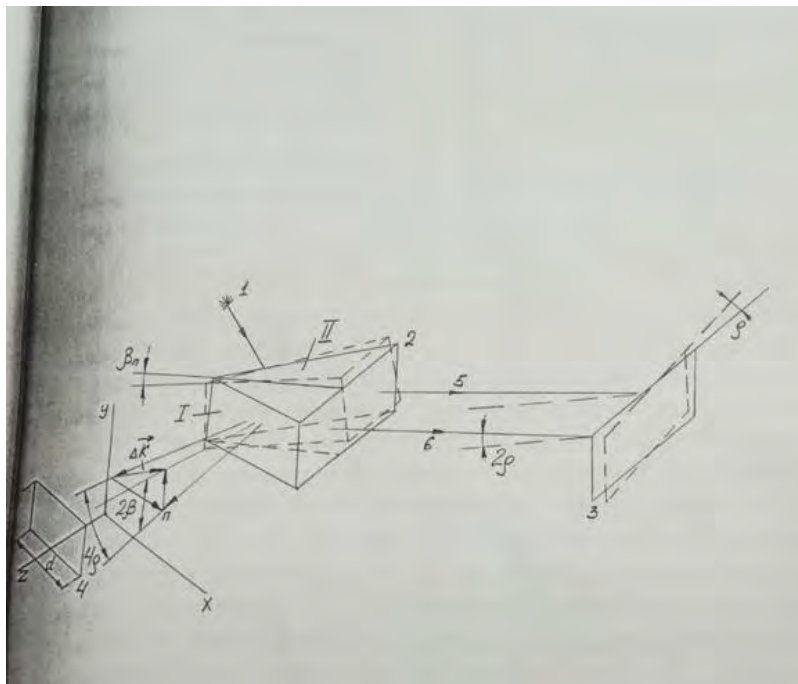


Рис. 3. 4 Схема інтерференційного НІ з призмою Кестерса.

Для зручності будемо вважати джерело світла монохроматичним і когерентним.

Електричні поля інтерферуючих пучків запишемо у вигляді:

$$\begin{aligned} \vec{E}_1 &= E_{10} e^{i(\vec{k}_1 \vec{r} - \omega t + S_1(\vec{r}))} \\ \vec{E}_2 &= E_{20} e^{i(\vec{k}_2 \vec{r} - \omega t + S_2(\vec{r}))} \end{aligned} \quad (43)$$

Де з допомогою фазових S_1 і S_2 будемо враховувати відмінність ходу і неплоскість хвильових фронтів інтерферуючих пучків. Інтенсивність світла на виході призми Кестерса можна записати:

$$I = \frac{1}{2} [(\vec{E}_1 + \vec{E}_2)(\vec{E}_1 + \vec{E}_2)] = \frac{1}{2} (E_{10}^2 + E_{20}^2) + E_{10} E_{20} \cos[\vec{e}_0 \vec{k} + \Delta S] \quad (44)$$

Де $\Delta K = K_1 - K_2$, $\Delta S = S_1 - S_2$. В системі координат, пов'язаної з фотоприймачем (рис 3.3), складові відмінності хвильових векторів мають вигляд:

$$\Delta k_x = 2 \cdot |k| \cdot \sin 2\varrho, \quad \Delta k_y = 2 \cdot |k| \cdot \sin \beta_n \quad (45)$$

Де ϱ – кутове відхилення відбиваючої поверхні від нормального положення, β_n – кут повороту двох половин призми Кестерса у вертикальній плоскості. Тим самим кутом можна характеризувати пірамідальність однієї із двох половин призми Кестерса. Для простоти будемо вважати інтерферуючі хвилі плоскими. В цьому випадку відмінність фаз ΔS включає в себе набіг фази, обумовлену відстанню h між пучками при їх падінням на відбиваючу поверхню, а також набіг фази за рахунок взаємного лінійного зміщення ε елементів призми Кестерса при її склейці:

$$\Delta \delta = \frac{4\pi}{\lambda} \left[\varrho h + \varepsilon \left(\frac{n_c}{2} - 1 \right) \right], \quad (46)$$

Де n_c – показник переломлення скла з якого виготовлена призма Кестерса.

Вважаючи кути ϱ і β_n малими, можна записати:

$$I = \frac{1}{2} (E_{10}^2 + E_{20}^2) + E_{10} E_{20} \cos \left[\frac{4\pi}{\lambda} (\varrho x + \beta_n y + \varrho h + \varepsilon \left(\frac{n_c}{2} - 1 \right)) \right] \quad (47)$$

Інтегруючи інтенсивність по прямокутній апертурі фотоприймача і розраховуючи $E_{10} = E_{20} = \sqrt{I_0}$, отримаємо вихідний сигнал у вигляді:

$$U(\varrho) = \gamma_{\varphi} \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-b/2}^{b/2} I(x, y, \varrho) dx dy = \gamma_{\varphi} \cdot I_0 \cdot d \cdot b \left[1 + \frac{\sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \beta_n b \right)}{\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \beta_n \cdot b} \cdot \frac{\sin \left(\frac{4\pi}{\lambda} \cdot \varrho d \right)}{\frac{4\pi}{\lambda} \cdot \varrho \cdot d} \cos \left[\frac{4\pi}{\lambda} (\varrho h + \varepsilon \left(\frac{n_c}{2} - 1 \right)) \right] \right], \quad (48)$$

Де γ_{ϕ} – чутливість фотоприймача, b і d – відповідно висота і ширина апертури фотоприймача. Відмінність отриманої форми вихідного сигналу від ідеального випадку ($\beta_n = 0$, $\varepsilon = 0$) заключається у зменшенні амплітуди, обумовленої наявністю співмножника $\sin = (\frac{2\pi}{x} \beta_n b) / \frac{2\pi}{2} \beta_n b$ і в спотворенні форми за рахунок фазового зсуву $\varepsilon(n_c/2 - 1)$. На рис 3.4 зображено вихідний сигнал інтерференційного нуль-індикатора при різноманітних значеннях параметрів.

Серед різноманітності конкретних схем виконання інтерференційного нуль-індикатора можна зупинитися на трьох варіантах, зображених на рис 3.2 (б,в,г). Ці варіанти виконання інтерференційних схем відрізняються простотою і, відповідно, найменшою кількістю відображень. Нуль-індикатор з призмою Кестерса і з біпризмою Дове по факту нічим не відрізняються один від одного, тому вираз для вихідного сигналу (3.8) в рівній степені відноситься до обох варіантів. Характерною особливістю таких нуль-індикаторів є практично повна відсутність чутливості (на рівні впливу неплоскості відбиваючих поверхонь) по вертикальній координаті. Як було згадано раніше, це є важливим фактором роботи нуль-індикаторів з точки зору впливу пірамідальності призм. Недоліком розглянутих варіантів нуль-індикаторів є високі вимоги до склейки призм світлоділительів, які відображені у виразі (3.8) через параметри β_n і ε . Склейка таких призм зазвичай відбувається по спеціальній технології при безпосередньому контролі інтерференційної картини.

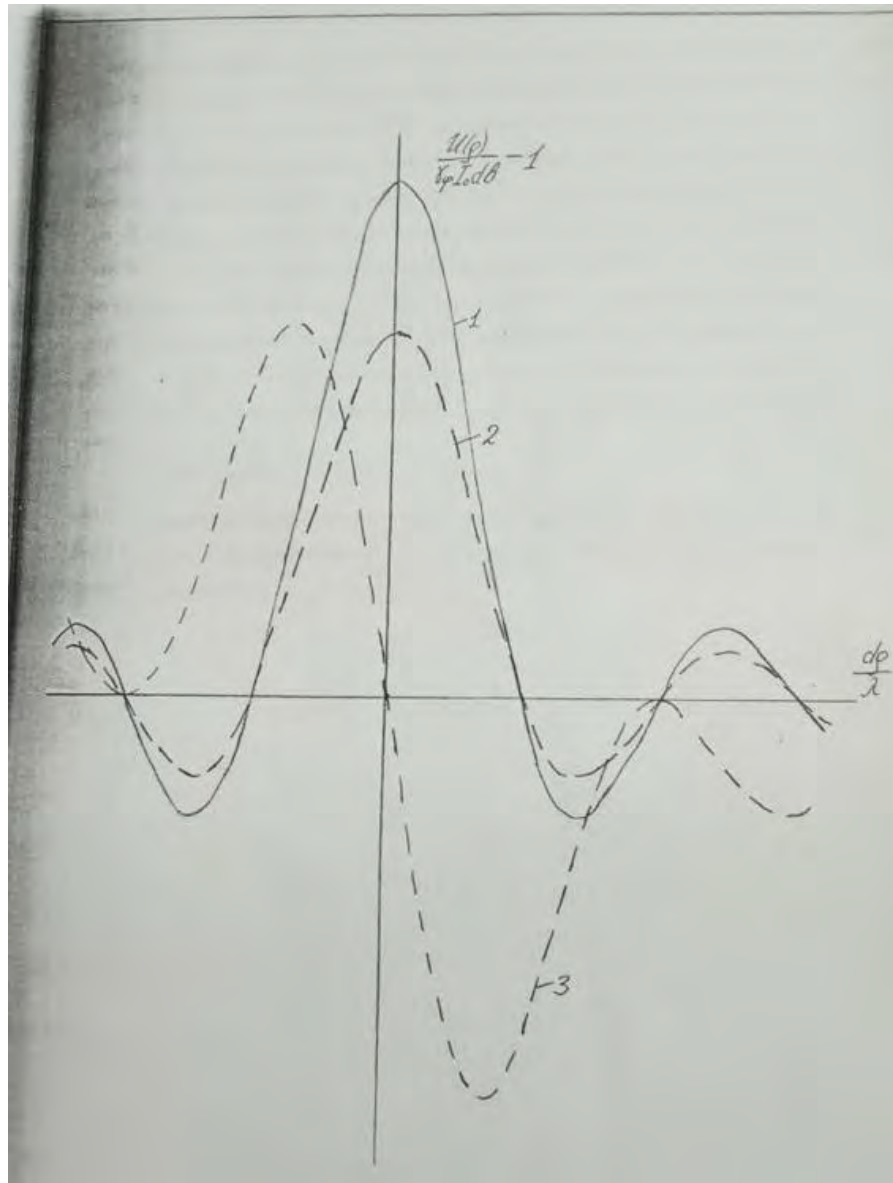


Рис.3.5 Форма вихідного сигналу інтерференційного нуля-індикатора(1 – ідеальний випадок, 2 – поворот двох половин призми Кестерса у вертикальній площині, 3 – лінійний зсув двох половин призми Кестерса)

Нуль-індикатор зі зворотно круговим ходом променів вигідно відрізняються відсутністю високих вимог до склейки призми, що обумовлено проходом інтерферуючих променів з урахуванням розповсюдження в прямому і зворотному напрямку по ідентичним шляхам. Тому для нуля-індикаторів зі зворотно круговим ходом променів у виразі (3.8) варто вважати $\beta_n = 0$ і $\varepsilon = 0$

на рівні впливу неплоскості). Недоліком нуль-індикаторів зі зворотно-круговим ходом променів є деяка чутливість по другій координаті, що заключається у появі відмінності оптичної довжини шляху для інтерферуючих пучків при нахилі підконтрольної поверхні в вертикальній плоскості. Виходячи із рис. 3.5, що пояснює хід променів в даному нуль-індикаторі, слідує, що при нахилі підконтрольної поверхні по вертикалі на кут β_3 інтерферуючі промені отримують відмінність ходу, що дорівнює:

$$\delta \approx \frac{1}{2} \beta_3^2 (l_1 - l_2). \quad (49)$$

Наявність даної відмінності ходу накладає конкретні вимоги на когерентність джерела світла, що використовується в нуль-індикаторі.

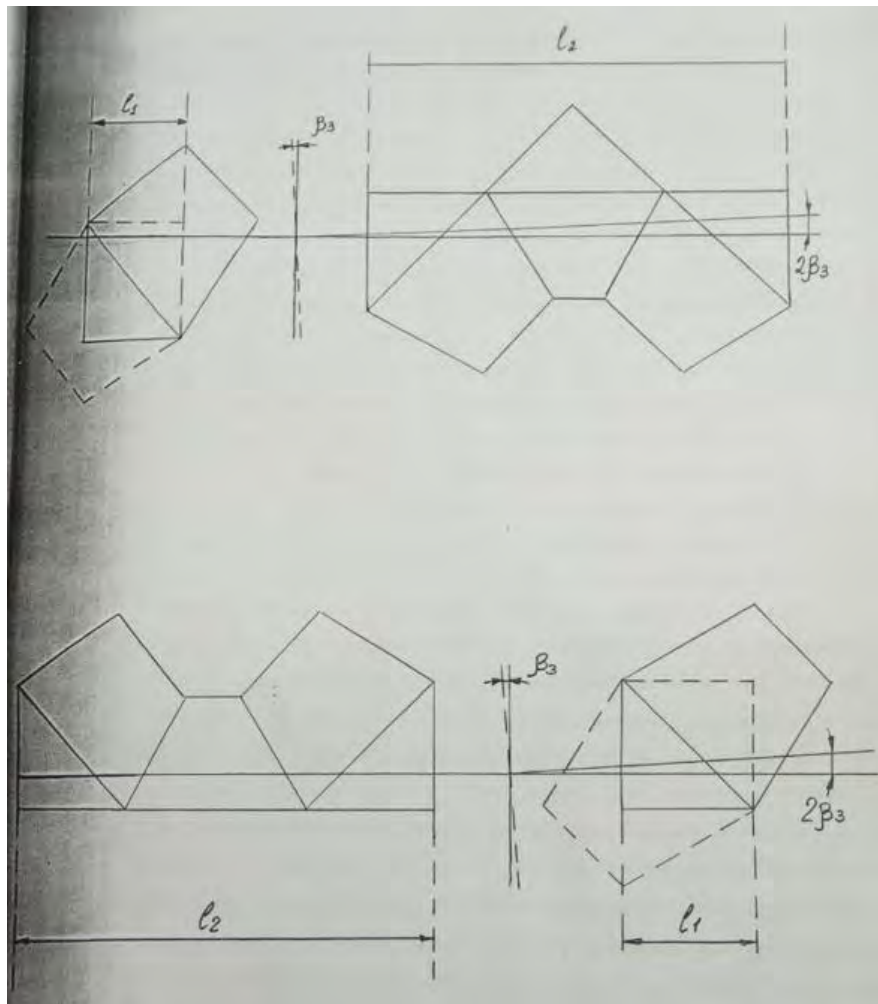


Рис 3.6 Оптична розгортка ходу променів в нуль-індикаторі зі зворотно-круговим ходом променів

3.6 Дослідження випадкової складової похибки інтерференційного нуль-індикатора

Оцінимо випадкову складову похибки інтерференційного нуль-індикатора, використовуючи вираз (1.13). Кутову тривалість імпульса L_0 отримаємо із виразу (3.8). Нехай $d = h = 5\text{мм}$, тоді кутова тривалість імпульса складає величину порядку 5 кут. с. Для оцінки відношення сигнал/шум використовуємо

результати експериментальних досліджень, представлених на рис 4.1

Експерименти проводилися з джерелом білого світла у вигляді лампи розжарювання. В якості фотоприймача використовувався фотоелектронний помножувач. Реєструвалися амплітуда інтерференційного імпульса і відношення сигнал/шум можна брати рівним величині порядку 100 (використання фотодіодів і фототранзисторів дало приблизно такі самі величини). Підставляючи отримані данні у (1.13), отримуємо оцінку середнього квадратичного відхилення $\delta_{\Delta\Phi} = 0.03$ кут. с.

Отримане значення є опосередкованою оцінкою випадкової складової похибки нуль-індикатора. Для отримання прямої оцінки, що дає більш надійні результати, були проведені спеціальні експериментальні дослідження. В експериментах використовувалась установка, особливістю якої була задання вимірюваного кута, які (рис. 4.2) здійснювались за допомогою напівпрозорого дзеркала 3 і рухомого дзеркала 4, розташовані таким чином, що світловий пучок нуль-індикатора після відбиття від грані многогранної призми падав на кожне із цих дзеркал. Многогранна призма в цьому випадку виконувала роль скануючого елемента. При скануванні у певні моменти часу, пучок падав нормально на дзеркала 3 і 4, що супроводжувалось виробленням на виході нуль-індикатора відповідних імпульсів. Формування за допомогою цих імпульсів інтервалів для підсумовування періодів вихідного сигналу кільцевого лазера дозволяло виміряти кут між дзеркалами. Вимір кутового положення рухомого дзеркала з допомогою юстованої головки дозволяло варіювати величину вимірюваного кута в діапазоні від 3 кут. ш. до 4 град. В

експериментах використовувалися інтерференційні нуль-індикатори з біпризмою Дове в якості світлоділителя і з джерелами світла двох типів: з He-Ne лазером типу ЛГ-78 і з лампою розжарювання.

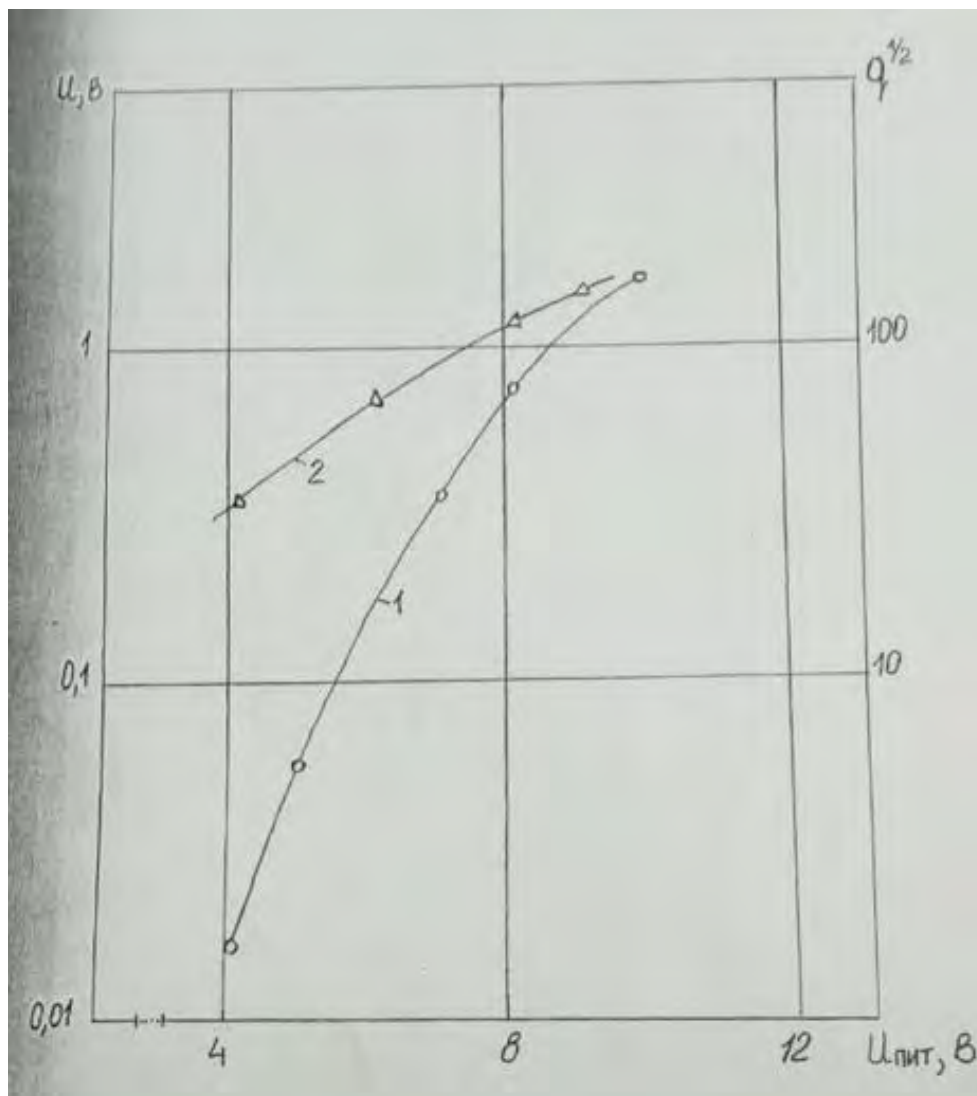


Рис. 3.7 Амплітуда інтерференційного імпульса (1) і відношення сигнал/шум (2) в залежності від напруги живлення ($U_{\text{пит}}$) джерела світла

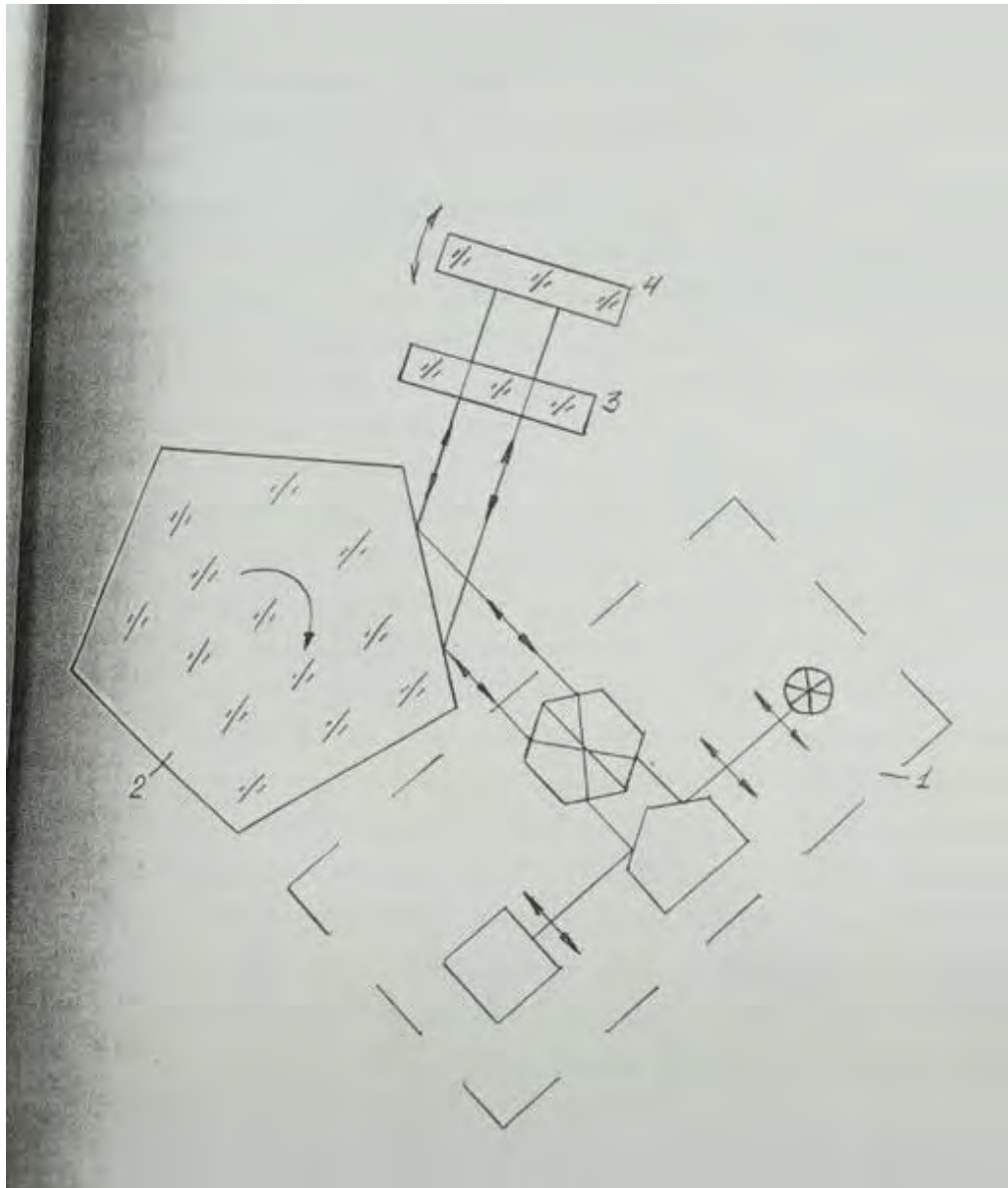


Рис 3.8 Задання кута при експериментальному дослідженні випадкової складової похибки нуля-індикатора(1 – нуль-індикатор; 2 – многогранна призма; 3 – напівпрозоре дзеркало; 4 рухоме дзеркало)

КГМ 6.3-15. Приймачем випромінювання в обох випадках був фотоелектронний помножувач ФЄУ -68. При використанні промислового зразка лінійного лазера ЛГ-78 в якості джерела світла не приймалися ніякі міри по покращенню його шумових характеристик.

Обробка результатів вимірювання передбачувала отримання залежності дисперсії випадкової складової похибки від величини вимірюваного кута і відповідних спектральних щільностей похибки вимірювання кута. Визначення дисперсії проводилося по масиву даних з виключеною систематичною складовою похибки вимірювання, обумовленою відмінністю граней многогранної призми по площині відбиваючої поверхні. Результати вимірів наведені на рис 4.3, де крива 1 отримана для нуля-індикатора є лампою

розжарювання, а крива 2 є лазерним джерелом випромінювання. Для розрахунку спектральної щільності використовувались реалізації, отримані при вимірюванні кутів протягом 20 обертів платформи (480 значень). На рис 4.4 представлені спектральні щільності похибки, отримані для різноманітних вимірних кутів. Діапазон частот, визначений довжиною реалізації і частотою зняття інформації, складає 0.125 – 6 Гц, розширення по частоті – 0.125 Гц.

В основі проведених експериментальних дослідів лежало припущення, що похибка нуль-індикатора є адитивною складовою похибки вимірювання кута і у відповідності з цим не залежить від величини вимірюваного кута. Структуру похибки вимірювання кута представимо у вигляді:

$$D_{\varphi} = D_{\text{кл}} + D_{\text{ни}} + D_c + D_g + D_{\varphi} \quad (50)$$

З відмінністю, що похибка задання кута $D_{\text{зу}}$ в данному випадку представимо у вигляді суми похибки нуль-індикатора $D_{\text{ни}}$ і похибки D_c , пов'язаною зі специфікою даної експериментальної установки – вібраціями основи установки, механічними змінними елементів схеми задання кута. Похибка кільцевого лазера $D_{\text{кл}}$ представлена на графіку рис. 4.3 (крива 3). Порівняння кривих 2 і 3 показує, що похибкою кільцевого лазера в даному випадку можна знехтувати.

Щоб виділити джерело, яке визначає ріст похибки вимірювання кута (крива 2), розглянемо спектральні щільності (рис 4.4) при різних вимірюваних кутах ($\Phi_0 = 1.5$ кут.хв., 6 кут.хв., 0.5 град, 2 град.).

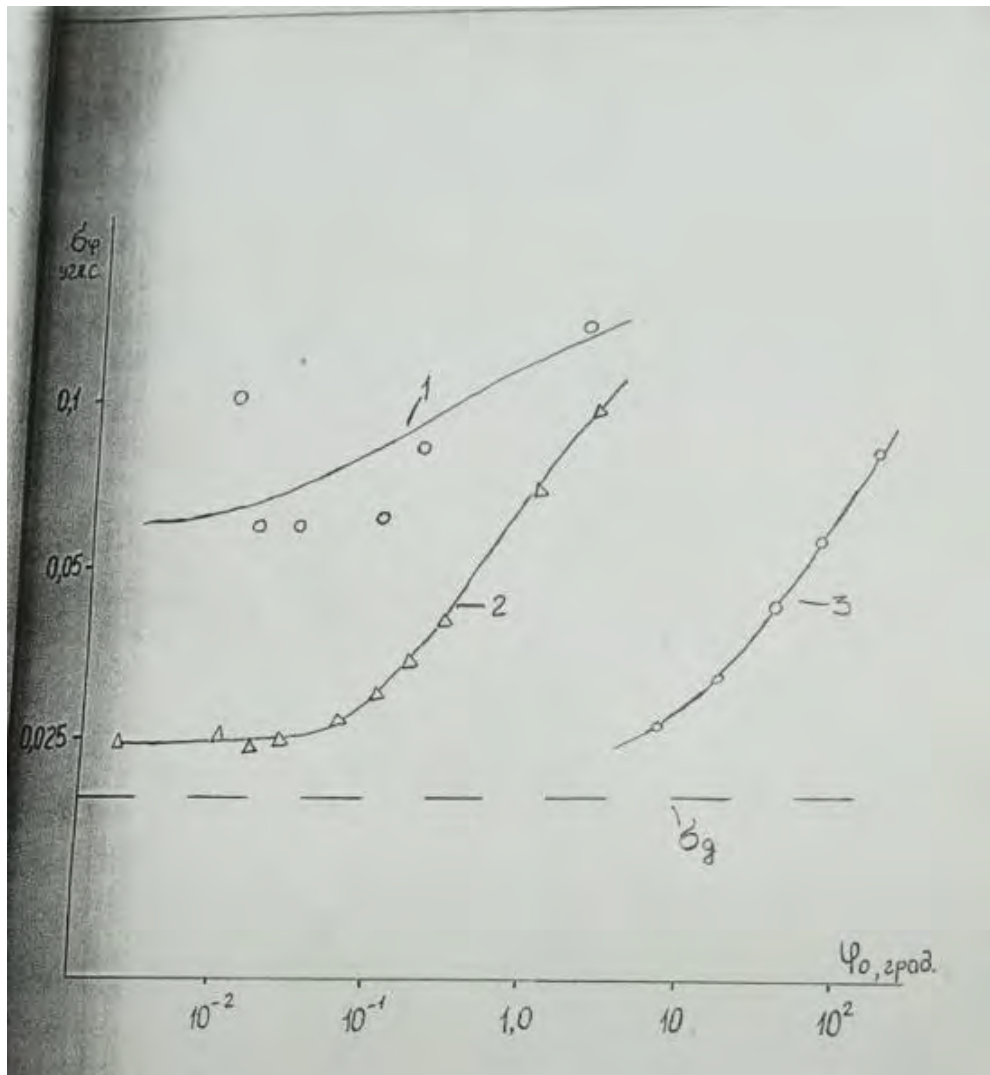


Рис. 3.9 Випадкова складова похибки вимірювання кута з допомогою двох дзеркал (криві 1 і 2). Крива 3 – похибка кільцевого лазера

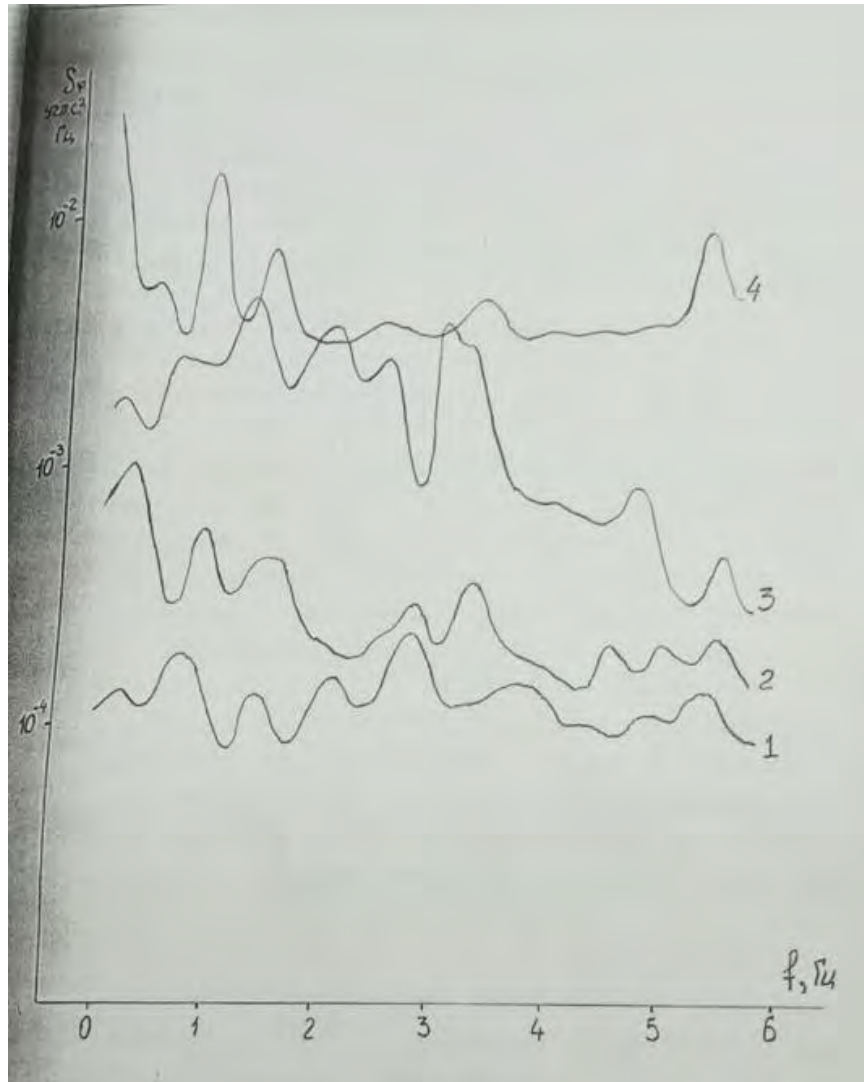


Рис 3.10 Спектральні щільності похибки вимірювання кута для різних значень вимірюваних кутів Φ_0 (1 – 1.5 кут.хв; 2-6 кут.хв; 3-0.5 град; 4-2 град.)

Крива 1 кутах ($\Phi_0 = 1.5$ кут.хв.) являє собою спектральну щільність адитивного шуму, який може бути обумовлений шумами нуль-індикатора (дробовий шум фотоприймача, шуми джерела світла і т.д) і дискретним характером вихідного сигналу кільцевого лазера і має в даній частотній області слабо змінну частотну щільність. Варто відзначити, що для кутів $\Phi_0 < 1.5$ кут. хв. Спектральні щільності також представляють собою «білий» шум з тією ж щільністю. Для кутів $\Phi_0 > 1.5$ кут.хв. (криві 2-4) спектральні щільності можна апроксимувати виразом:

$$S_{\varphi}(f) = N_0 + \frac{C}{f^{\alpha}} + \sum_{i=1}^N \frac{D_i B_i}{B_i + (f - f_{0i})^2} \quad (51)$$

Де включені джерела виникнення шумів. Аналіз спектральних щільностей спільно з виразом (4.2) показує, що з ростом вимірюваного кута починає

позначатися вплив двох видів перешкод, спектри яких зосереджені в низькочастотній області розглянутого діапазона. Друга складова відображає повільні зміни вимірюваного кута, які можуть бути пов'язані лише з тепловими і деформаційними змінами просторового положення оптичних елементів, що задають вимірюваний кут. Третя складова в (4.2) описує вплив перешкоди на дискретних частотах f_{ei} , характерних для вібраційних шумів. Перешкоди такого виду сказуються в першу чергу на елементи схеми задання кута.

Окрім перерахованих джерел шума значним фактором виникнення похибки є вібрації основи експериментальної установки, спеціально проведені виміри кутових вібрацій основи навколо вертикальної осі показали, що вібрації зосереджені на дискретних частотах від 0.5 до 25 Гц з амплітудою порядку 0.05 – 0.1 кут.с. Вібрація основи з частотою 25 Гц створює похибку виміру, що зростає з ростом вимірюваного кута і досягає максимального значення при $\Phi_0 = 3.5$ град, що відповідає отриманій експериментальній залежності.

Наведені факти дозволяють припустити, що в проведених дослідах при вимірюванні кутів від 1.5 кут.хв. до 4 град домінуючим джерелом випадкової складової похибки є мультиплікативна перешкода D_c , обумовлена специфікою експериментальної установки. Для вимірюваних кутів $\Phi_0 < 1.5$ кут.хв. впливом D_c порівняно з адитивною складовою можна знехтувати.

Враховуючи наведені оцінки впливу джерел випадкової складової похибки вимірювань, в діапазоні кутів $\Phi_0 = 0-1.5$ кут.хв. можна перетворити (4.1):

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_x + \Delta\varphi_y \quad (52)$$

Похибка дискретності при вимірах складала $\delta_g = 0.02$ кут.с. Використовуючи (4.3) і результати, представлені на рис 4.3., можна стверджувати, що оцінка випадкової складової похибки інтерференційного нуль-індикатора з джерелом білого світла складає $\delta_{ни} = 0.015$ кут.с. При використанні в нуль-індикаторі лазерного джерела світла $\delta_{ни} = 0.054$ кут.с., що обумовлено наявністю технічних флуктуацій в інтенсивності випромінювання промислового зразка лінійного лазера. Отримана оцінка похибки інтерференційного нуль-індикатора співпадає з отриманою непрямою оцінкою.

3.7. Неплощинність хвильових фронтів інтерференційного нуль-індикатора

Використання інтерференційних нуль-індикаторів в лазерній гоніометрії при атестації многогранних призм потребує високої якості виготовлення оптичних деталей по площинності їх поверхонь. Так для отримання систематичної похибки нуль-індикатора з призмою Кестерса менш ніж 0.1 кут.с. потрібно мати поверхню з локальними відступами від площини (на ділянках порядку діаметра пучка) не гірше 0.052. Менш критичний з неплоскістю відбиваючих поверхонь нуль-індикатор з зворотньо-круговим ходом променів, однак він характеризується меншою чутливістю. При вирівнюванні чутливості за рахунок збільшення діаметра світлового пучка ми приходимо до тих самих вимог по неплоскості, що і для нуль-індикатора з призмою Кестерса або біпризмою Дове.

При атестації за допомогою лазерного гоніометра призм проблема неплоскості відбиваючих поверхонь набуває особливо важливого значення. Неплоскість відбиваючих поверхонь елементів нуль-індикатора в цьому випадку викривляє інтерференційний імпульс і приводить до похибки вимірів, яка тим не менше має однакові значення при нуль-індикації кожної грані многогранної призми. Знаходячи значення центральних кутів між гранями призми, ми компенсуємо помилку, пов'язану з неплоскістю елементів нуль-індикатора. Зовсім по-іншому впливає на результат вимірів неплоскість самих граней многогранної призми (при умові, що різні грані мають різну неплоскість). Викривлення інтерференційного імпульса нуль-індикації різних граней, що приводить до похибки вимірів центральних кутів призми. Наявність неплоскості відбиваючих граней призми приводить до ще більш складної проблеми: який кут ми повинні виміряти в цьому випадку? Як можна зрозуміти, це повинен бути кут між площинами, які можна по якомусь критерію апроксимувати реальні поверхні відбиваючих граней. Очевидно, що нуль-індикатор при формуванні імпульса працює з певними критеріями апроксимації. Нуль-індикатори різних типів можуть при цьому використовувати різні критерії, що повинно приводити до різних значень кутів при вимірах, які проводяться з автоколімаційним інтерференційним нуль-індикатором.

РОЗДІЛ IV. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ

«КОМПЕНСАЦІЯ ВІБРАЦІЙНИХ ДРЕЙФІВ ГІРОСКОПІВ»

4.1 Опис ідеї проєкту

Ідея стартап-проєкту полягає в розробці та впровадженню алгоритму компенсації вібраційного дрейфу гіроскопів для покращення точності вимірювання. Було проведено аналіз та виділено основні напрямки застосування даного покращення, а також оцінено її користь для потенційних користувачів за різними напрямками застосування.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Алгоритм компенсації температурних дрейфів гіроскопів	Машинобудування	Покращення точності навігаційного та стабілізаційного обладнання машин
	Військова промисловість	Покращення точності систем ведення вогню та ракетної зброї
	Навігаційні пристрої	Збільшення точності вимірювання вхідних величин необхідних для визначення поточних координат, та втримання напрямку руху
	Медицина	Підвищення точності хірургічних інструментів та приладів діагностики

Отже, пропонується новий спосіб компенсації дрейфів гіроскопічних датчиків кутової швидкості. До потенційних споживачів можна віднести: Машинобудування(авіапромисловість, суднобудування і т.п.) пристрої орієнтації та навігації, медицина та військова промисловість. Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

– визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;

– визначаємо попереднє коло конкурентів (проєктів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо

збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проєкту та проєктів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

– проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 4.2).

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проєкту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проєкт	Futaba	Futaba	Ikarus			
1.	Вартість програмного забезпечення	600	800	800	850	-	-	+
2.	Швидкодія	0.3	0.5	0.35	0.4	-	-	+
3.	Гарантійний строк	До 5 років	До 3 років	До 3 років	До 3 років	-	-	+
4.	Точність виміру	Найвища	Висока	Висока	Висока	-	-	+

Висновки: Було визначено, що потенційними конкурентами проєкту можуть виступати фірми Futaba, Futaba, Ikarus гіроскопічних датчиків кутової швидкості. Було проведено порівняння основних техніко-економічних характеристик. Як видно з таблиці 4.2, проєкт має значні переваги по всім розібраним показникам, що не дивно беручи до уваги, що він був створений з метою покращення пристроїв, що виготовляють компанії конкуренти. З цієї ж причини можна сказати, що потенційні конкуренти розробки водночас виступають і потенційними клієнтами

4.2. Технологічний аудит ідеї проєкту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проєкту. Це передбачає аналіз наступних складових:

- Технологію за якою буде виготовлено товар;
- Наявність таких технологій;
- Доступність цих технологій.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Отримання патенту	Офіційні права на розробку ідеї, підтвердження авторства	Наявна	Доступна
2	Підвищення точності обробки і виводу даних	Вдосконалення алгоритму роботи системи	Розробити	Доступна
3	Спрощення реалізації алгоритмів	Оптимізація програмного коду	Розробити	Доступна

Обрана технологія реалізації ідеї проєкту: Покращення і оптимізація точності датчиків кутової швидкості гіроскопа.

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок що наш проєкт зможе конкурувати з великими фірмами шляхом підвищення унікальності шляхом підвищення точності системи. Це зробить наш проєкт привабливішим для користувачів, тому що таким чином система матиме можливість підлаштовуватися під різні вхідні дані, що збільшує коло обладнання на якому може застосовуватися представлена розробка.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проєкту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Це дозволяє максимально продуктивно реалізувати продукт з урахуванням поточного стану ринка.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.4).

Таблиця 4.1. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	8000000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Існують, сертифікація
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Існують
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	55%

Висновок: Ринок є дуже привабливим для входження. Це пов'язано з гарною рентабельністю і загальними обсягами продаж. Але слід зауважити, що існують певні обмеження, пов'язані з виконанням специфічних умов стандартизації та сертифікації. Кількість основних гравців на ринку дорівнює 3, що є доволі оптимальною конкуренцією.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.2. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Підвищення точності показників приладів	Військова справа, машинобудування, розробка навігаційного обладнання, медицина	- Для військової та медичної сфери особливості пов'язані з стандартизацією і сертифікацією. - Для машинобудівної сфери важливішою є точність	Точність показників - Швидкодія алгоритму - Надійність - Простота та легкість у використанні.

Висновок: Було визначено цільові аудиторії (військова справа, машинобудівна сфера, розробка навігаційного обладнання, медицина) та їх головні особливості. Також було визначено відмінності між вимогами до точності показників системи у різних груп аудиторії. Було визначено основні вимоги споживачів до товару, які полягають у точності компенсації, швидкодії алгоритму, надійності, адаптивності, простоті та легкості у використанні.

При застосуванні даної технології існують певні загрози. (таблиця 4.6).

Таблиця 4.3. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Зменшення попиту	Оскільки товар не орієнтований на широкий загал, він може швидко перенасити ринок	Пошук нових клієнтів або можливостей адаптації алгоритмів під інші сфери
2.	Зміни у сертифікації	Змінення стандартів сертифікації	Втрата клієнтів, для яких потрібен сертифікований товар
3.	Точність	Погана точність продукту, товар не є надійний	Відмова від товару
4.	Зріст конкуренції	Вихід на ринок нових конкурентів, які будуть пропонувати більш дешевий або більш точний аналог за такою ж вартістю	Втрата клієнтів
5.	Вартість процедури впровадження алгоритмів до програмного забезпечення приладів	Подорожчання процедури впровадження алгоритмів до програмного забезпечення приладів, що призведе до подорожчання самого приладу	Відмова від товару внаслідок підвищення ціни

Висновок: У таблиці 4.6 описані основні види загроз. Головною загрозою на погляд автора є зріст конкуренції, що може призвести до відмови клієнтів від товару внаслідок появи на ринку дешевших або більш точних аналогів, які зможуть запропонувати потенційному користувачу кращі або близькі характеристики. Не слід забувати і про інші загрози. Їх врахування є дуже важливим, оскільки вони також можуть призвести до втрати клієнтів.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 4.7).

Таблиця 4.4. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Здешевлення вартості процедури впровадження алгоритмів до програмного забезпечення приладів	Вдосконалення та спрощення процедури, що призведе до її здешевлення	Зменшення ціни на готову систему
2.	Нові потенційні групи клієнтів	Поява нових потенційних груп покупців	Аналіз потреб нової групи покупців
3.	Розробка нових допоміжних алгоритмів в якості додатків	Розширення можливостей системи	Розширення можливостей системи, збільшення появи нових клієнтів, можливість освоювати нові галузі
4.	Зростання попиту	Можуть з'явитись нові потенційні покупці, або компанії-конкуренти вийдуть з ринку	Зростання прибутку, можливість подальшого розвитку та вдосконалення
5.	Необхідність модифікацій та вдосконалення	Розширення можливостей системи за потребою користувачів	Вдосконалення та розширення можливостей системи за бажанням потенційних або постійних клієнтів

Висновки: У таблиці 4.7 описані основні види можливостей. Найголовнішою серед них автор вважає збільшення попиту. Очевидно, через те, що воно призводить до зростання прибутку, можливості подальшого розвитку та вдосконалення. А також, як наслідок цього, перед проектом відкриваються всі інші можливості описані в таблиці. Вони в свою чергу відкривають потенціал для вдосконалення та розширення можливостей алгоритму, а також до зменшення ціни на вже готову продукцію.

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку визначає особливості конкурентного середовища, їх характеристики, а також їх безпосередній вплив на діяльність підприємства(табл 4.8).

Таблиця 4.5. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Тип конкуренції - чиста	Практично відсутня конкуренція у галузі	Можливість швидко проводити вдосконалення, випереджаючи конкурентів Можливості прогнозування змін на ринку
За рівнем конкурентної боротьби - міжнародний	Потенційні клієнти є у всьому світі	Вихід на міжнародний ринок
За галузевою ознакою - міжгалузева	Товар може використовуватись у різноманітних галузях	Аналіз зміни потреб для кожної потенційної групи клієнтів
Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Конкуренція товарів одного виду.	Задоволення потреб клієнтів - Відповідність ринку
За характером конкурентних переваг - цінова	Варіювання ціни внаслідок вибору користувачем функціональних особливостей	Вдосконалення та спрощення процедури, що призведе до її здешевлення

Висновки: Було проаналізовано основні риси конкуренції на ринку, їх вплив на діяльність підприємства, а також можливі дії компанії, для забезпечення постійної конкурентоспроможності. Визначено, що конкуренція у галузі є невеликою (практично відсутня), і вона існує між товарами одного виду, є можливості виходу на міжнародний ринок, використання товару можливе у різноманітних сферах, а довіра до товару будується на репутації бренду.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 4.6. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Відсутні	Поки що відсутні	Всі виробники ДКШ	Військова справа, машинобудівна сфера, розробка навігаційного, медицина	Всі наявні на ринку гіроскопи
Висновки:	Конкуренція у галузі поки що практично відсутня	Можливо ті виходу на ринок є, і вони не важкі. Можуть з'явитись потенційні конкуренти	Постачальники не диктують умови ринку	Клієнти практично не диктують умов, окрім військової промисловості та медицини, де існує обов'язкова сертифікація	Обмежень немає, тому що товарозамінник не є настільки точним, як запропоновані алгоритми.

Висновки: За результатами аналізу, визначено, що з оглядом на конкурентну ситуацію, на ринку можна працювати. Конкуренція у галузі поки що практично відсутня, хоча з часом можуть з'явитись потенційні конкуренти. Постачальники не диктують умов на ринку. Є специфічні умови з боку деяких потенційних клієнтів. Товари-замінники не зможуть задовольнити потреби користувачів. Проєкт повинен мати наступні сильні сторони: точність, високу швидкодію, надійність, відповідність потрібним стандартам, щоб отримувати сертифікацію.

На основі аналізу конкуренції, проведеного в п. 3.5 (табл. 4.9), а також із урахуванням характеристик ідеї проєкту (табл. 4.2), вимог споживачів до 98 товару (табл. 4.5) та факторів маркетингового середовища (табл. №4.6-4.7) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності (табл. 4.10)

Таблиця 4.7. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проєктів значущим)
1	Точність	Алгоритми компенсації дрейфів ДКШ, що забезпечують необхідну точність систем
2	Адаптивність	Можливість використання системи при різноманітних умовах
3	Швидкодія	Висока швидкодія системи, як наслідок – якість вихідного корисного ефекту
4	Надійність	Система працює стабільно при різноманітних зовнішніх чинниках
5.	Сертифікація	Відповідність необхідним стандартам, для отримання сертифікатів за потребою потенційних клієнтів

Висновки: Визначено основні фактори конкурентоспроможності, які полягають у точності, адаптивності, швидкодії, надійності та сертифікованості. Також наведено обґрунтування, яке показує сильні сторони проєкту і те, як ці сильні сторони можуть бути корисними потенційному клієнту при використанні товару в порівнянні з товарами-конкурентами.

Таблиця 4.8. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з METER Company						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Наявність патентів	19		+					
2	Велика кількість постачальників	18			+				
3	Висока якість	19					+		
4	Технічна підтримка	18							+
5.	Ціна	19						+	

Висновки: З таблиць 4.10 та 4.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при впровадженні нового методу компенсації вібраційних дрейфів гіроскопів. Основною перевагою та головним досягненням є висока якість продукту та технічна підтримка на протязі всього терміну його використання споживачем.

Таблиця 4.9. SWOT- аналіз стартап-проєкту

<p>Сильні сторони: Найвища точність серед всіх існуючих аналогів Відповідність необхідним стандартам, для проходження сертифікації Можливість застосування у військовій сфері та медицині</p>	<p>Слабкі сторони: Оскільки продукт новий, його надійність до кінця не перевірена Неможливість забезпечити всіх користувачів повною технічною підтримкою на початкових етапах</p>
<p>Можливості: Збільшення продаж; Отримання державних замовлень на отримання послуг; Розширення ринку за рахунок іноземних замовників; Вдосконалення системи</p>	<p>Загрози: 1. Цінова конкуренція в зв'язку з появою нових гравців на ринку. 2. Різка зміна курсу гривні може привести до зменшення попиту, особливо з боку малих фірм. 3. Політичні та економічні ризики ведення бізнесу; 4. Втрата потенційних клієнтів через недостатню технічну підтримку;</p>

Висновки: Проведено SWOT-аналіз, за яким були визначені можливі загрози і можливості, які передбачаються сильними та слабкими сторонами проєкту. Загрози є, але вони більш пов'язані з тим, що продукт досить новий, і максимальна технічна підтримка нових користувачів не є головною метою, оскільки вся увага приділяється в першу чергу точності, адаптивності до різних факторів і легкості у використанні запропонованими алгоритмами.

Таблиця 4.10. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	12 міс.
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Висока	21 міс.
3	Стратегія виходу з ринку	Низька	12 міс.

Висновки: Після проведеного аналізу було обрано альтернативу – стратегію нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу. Це пов'язано з високою ймовірністю отримання ресурсів, а також досить стислих строків на реалізацію. Інші альтернативи значно програють по ймовірності отримання ресурсів, а вигреш по часу, якщо розглядати таку альтернативу як стратегія виходу з ринку не корелює з ймовірністю отримання ресурсів.

4. 4. Розроблення ринкової та маркетингової програми стратегії

проєкту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.11. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Промислові компанії	Одразу не готові, треба певний час на перевірку	високий	низька	важко
2	Машинобудування	Готові, якщо буде сертифікація	високий	низька	середньо
3	Навігаційні пристрої	Готові	високий	низька	просто
4	Медицина	Одразу не готові, треба певний час на перевірку в	високий	низька	важко
Які цільові групи обрано: Навігаційні пристрої, машинобудування					

Висновки: За результатами аналізу потенційних груп споживачів було обрано цільові групи: Навігаційні пристрої, машинобудування. Конкуренція в галузях низька. Оскільки буде проводитися робота відразу у декількох сферах, то обирається стратегія диференційованого маркетингу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку. Таблиця 4.12. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Стратегія диференційованого маркетингу	Використання нових досягнень - Задоволення вимог користувачів - Постійне вдосконалення	Стратегія диференціації

Висновки: Як базову стратегію розвитку було обрано стратегію диференціації, яка передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять товар особливим в порівнянні з товарами-конкурентами за певними характеристиками, іноді зважаючи на не досить важливі характеристики товару. Так буде більше уваги приділятися високій точності, адаптивності та спрощенню у використанні, але менше технічній підтримці (оскільки цей фактор буде не суттєвим при виконанні трьох попередньо зазначених).

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Таблиця 4.13. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ 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» на ринку	Так, будуть вестися пошуки нових споживачів, аналізуватися нові групи потенційних клієнтів, а також переманюватися у конкурентів, за допомогою пропонування кращого продукту.	Ні	Стратегія виклику лідера

Висновки: За стратегію конкурентної поведінки було обрано стратегію виклику лідера, суть якої полягає у протистоянні лідеру. Проект не є першопрохідцем на ринку, але завдяки створенню конкурентоспроможного товару, який у загальній кількості характеристик може зайняти найвищу позицію на ринку, і стати одним із найпривабливіших 103 для клієнтів. Основні характеристики товару конкурента не будуть копіюватись, а навпаки вдосконалюватись.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки

розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проєкт

Таблиця 4.14. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проєкту (три ключових)
1	Точність системи	Стратегія диференціації	Найвища точність	Високоточна, стабільна.
2	Адаптивність до різноманітних умов	Стратегія диференціації	Універсальність	Адаптивна до будь-яких обставин, універсальна
3	Надійність впродовж часу роботи	Стратегія диференціації	Якість	Надійна
4	Простота у використанні	Стратегія диференціації	Простота	Проста, легка, зрозуміла
5	Вдосконалення продукту враховуючи побажання споживачів	Стратегія диференціації	Формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.	Якість. Ціна. Зворотній зв'язок із виробником. Технічна підтримка.

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 4.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.15. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Необхідність компенсації дрейфів ДКШ з метою отримання максимально точних даних	Алгоритм має найвищі показники точності серед всіх можливих аналогів. Він також є адаптивним до різноманітних факторів, простим у використанні.	Максимальна точність, адаптивність, надійність, проста у використанні, підтримка споживача, можливість широкого використання

Висновки: Як видно з табл. 4.18, для потенційного споживача існує досить багато переваг, які полягають у максимальній точності, адаптивності, надійності, прості у використанні, підтримці споживача, можливості широкого використання. відносно товарів конкурентів. Деякі характеристики і можливості товари-конкуренти взагалі не можуть запропонувати у такій якості потенційному користувачеві.

Таблиця 4.16. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	1. Точність компенсації 2. Швидкість роботи алгоритмів 3. Надійність впродовж часу роботи 4. Простота у використанні		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
		1. 0.03°/с 2. Залежить від роботи мікропроцесора 3. – 4. Нм	1. ТХ 2. ТХ 3. ТХ 4. ТЛ
	Якість: відповідає нормам ISO		
	Пакування: програмне забезпечення		
III. Товар із підкріпленням	Марка: проєкт «Алгоритми компенсації вібраційних дрейфів гіроскопів»		
	До продажу: отримання спеціальної консультації щодо встановлення програмного забезпечення та його використання Після продажу: Гарантійне обслуговування, сервісна підтримка		

Висновки: Зроблено опис трьох рівнів моделі товару, за яким легко зрозуміти призначення товару та які проблемні задачі він вирішує, основні властивості та технічні характеристики які може запропонувати даний товар, основні сертифікації товару, а також яка підтримка може очікувати цільового користувача до та після покупки. Захист товару від копіювання буде зроблено завдяки патентуванню.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 4.20).

Таблиця 4.17. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	300-1500 ум.од	900 – 5000 ум.од	10000-15000 ум.од.	Нижня межа: 2500 ум.од. Верхня межа: 3500 ум.од

Висновки: Встановлено межі ціни на товар, які дорівнюють від 2500 до 3500 ум.од. Ціна є оптимальною для запропонованих користувачу характеристик, і знаходиться на рівні товарів-конкурентів. Ціна базувалась на собівартості розробки програмного забезпечення, а також враховано унікальність даних алгоритмів. Визначено рівень доходів цільової групи споживачів, але треба зазначити, що ці системи не на широку аудиторію, тобто їх основними споживачами є великі компанії.

Таблиця 4.18. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Роздрібна закупівля	Супровід товару на всьому етапі доставки до кінцевого споживача	Канал одного рівня	Підприємства роздрібно торгівлі
	Оптова закупівля	Супровід товару на всьому етапі доставки до кінцевого споживача, з додатковими умовами і бонусами.	Дворівневий канал	Підприємства оптової торгівлі
3	Орендування	Консультація щодо використання обладнання	Канал нульового рівня	Підприємства від виробника

Висновки: Встановлено глибини каналу збуту та оптимальні системи збуту за специфікою закупівельної поведінки цільових клієнтів. Основні це роздрібна закупівля, оптова закупівля та орендування. Визначено функції збуту, які повинен виконувати постачальник товару. Визначено, через що оптимально реалізовувати збут при різних специфіках закупівельної поведінки цільових клієнтів.

Таблиця 4.19. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Знайти можливість швидко та зручно компенсувати дрейфи для отримання більш точних вихідних даних	Інтернет, телефон, відвідування наукових форумів, презентацій	Точність, швидкість, адаптивність	Приваблення нових цільових клієнтів	Розповісти про новий підхід до компенсації дрейфів ММГ та отримання з їх допомогою більш точних даних = вдосконалення роботи всіх гіроскопів

Висновки: Розроблено концепцію маркетингової комунікації, яка буде полягати у привабленні нових цільових клієнтів, за допомогою інтернету, телефону та проведенні спеціальних наукових форумів і презентацій, які обрані основними

каналами комунікацій, шляхом розміщення рекламного звернення, де буде розповідатись про новий підхід до компенсації дрейфів гіроскопів та отримання з їх допомогою більш точних даних.

4.5. Висновки

При розробці стартап-проєкту було пророблено всі етапи, необхідні для правильного аналізу ринку, потенційних клієнтів, конкурентоспроможності, факторів ризику та можливостей, вибору правильних стратегій для впровадження стартап проєкту на ринок, для того, щоб він став успішним. Визначено основні напрямки застосування та вигоду для користувачів, а також сильні та слабкі сторони проєкту у порівнянні з товарами-конкурентами. На основі цього було виявлено, що на товар існує досить великий попит у різноманітних сферах, таких, як авіабудування, морська справа, військова промисловість, автомобільна промисловість, розробка навігаційного обладнання, робототехніка, медицина. Проведено технологічний аудит проєкту для вибору правильної технології реалізації ідеї проєкту. Було обрано технологію - підвищення точності системи, що є більш привабливим для користувачів, тому що отримані показники будуть максимально точними. Проведено аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту, за яким було виявлено, що ринок є дуже привабливим для входу, а середній рівень рентабельності у галузі є високим. Визначено основні цільові аудиторії клієнтів, а також головні відмінності між ними. Основним ризиком загроз обрано зріст конкуренції, внаслідок чого може початися втрата клієнтів. А основною можливістю є зростання попиту, що призведе до збільшення виробництва. Проаналізовано основні риси конкуренції на ринку і визначено, що конкуренція

у галузі є невеликою, є можливості виходу на міжнародний ринок, а використання товару можливе у різноманітних сферах. За результатами аналізу за моделлю М. Портера, визначено, що з оглядом на конкурентну ситуацію, на ринку можна працювати. Конкуренції у галузі практично не існує, проте в майбутньому можуть з'явитись потенційні конкуренти. Постачальники не диктують умов на ринку. Є специфічні умови з боку деяких потенційних клієнтів. Товари-замінники не зможуть задовольнити потреби користувачів. Визначено фактори конкурентоспроможності за якими проведено аналіз сильних та слабих сторін проєкту: наявність патентів, висока точність. Більш слабкі сторони полягають у сертифікованості і надійності, оскільки неможливо передбачити абсолютно всі впливи. Загалом товар є повністю конкурентоспроможним з існуючих. Після проведеного SWOT – аналізу було обрано альтернативу ринкової поведінки – стратегію нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу. Розроблено ринкову стратегію проєкту. Як цільові групи обрано: автомобільну промисловість, компанії, що займаються розробкою навігаційного обладнання, робототехніки, авіаційне будівництво, суднобудівництво. Як базову стратегію розвитку було обрано стратегію диференціації. Обрано стратегію конкурентної поведінки – стратегія лідера. Сформульовано позицію власного проєкту, це три ключові поняття: високоточний, надійний і простий у використанні алгоритм. Розроблено маркетингову програму стартап-проєкту, за якою встановлено, що для 109 потенційного користувача товару є багато переваг, які не можуть запропонувати конкуренти. Встановлено межі ціни на товар, які дорівнюють від 2500 до 3500 ум.од. Ціна є оптимальною і знаходиться на рівні товарів-конкурентів. Встановлено глибини каналу збуту та оптимальні системи збуту і розроблено концепцію маркетингової комунікації, яка буде полягати у привабленні нових цільових клієнтів. Із зазначеного вище зроблено висновки, що подальша імплементація проєкту є цілком доцільна.

ВИСНОВОК

1. Інтерференційний нуль-індикатор має переваги по габаритам і точності фіксації кутового положення порівняно з більшістю автоколімаційними приладами.
2. Досліджуваний нуль-індикатор задовольняє вимоги по точності при його використанні в стенді для атестації масштабних коефіцієнтів малогабаритних гіроскопів.
3. Експериментальні дослідження показали можливість атестації масштабного коефіцієнта гіроскопа з відносною погрешністю не менше 10^{-4} .
4. Інтерференційний нуль-індикатор може також використовуватись для атестації датчиків кут-код, а також в системах виміру орієнтації гоніометричного типу.

ДЖЕРЕЛА

1. Schwite W. Precision of curved crystal spectrometers. I large angle laser intermethods – 1978 – v. 154 – p.95.
2. Bird H.M.B. A computer controlled interferometer system for precision relative angle measurements // Rev. Sci. Instr – 1971 – v.42 - №10. – P. 1513
3. Grigory S. Tymchik, Nataliia V. Stelmakh, Anatoliy S. Vasyura, Waldemar Wojcik, Kuanysh Muslimov, –Automated generation of the design solution of the assembly in instrument engineering” Proc. SPIE 10808, 1080828 (1 October 2018); doi: 10.1117/12.2501560
4. Ю. Ф. Лазарев and П. М. Бондар, Основи теорії чутливих елементів систем орієнтації, 1st ed. Київ: НТУУ –КПІ,” 2011.
5. V. M. N. Passaro, A. Cuccovillo, L. Vaiani, M. De Carlo, and C. E. Campanella, –Gyroscope technology and applications: A review in the industrial perspective,” Sensors (Switzerland), vol. 17, no. 10. 2017.
6. G. T. Schmidt, —GPSBased Navigation Systems in Difficult Environments,” Giroskopiya i Navig., vol. 27, no. 1, pp. 3–21, 2019.
7. G. Tymchik, “Quality control system of well-bonded coupling fitting onto high pressure gas-main pipelines”, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, vol. 10808, pp. 108085A, 2018.
8. Advanced Signal Processing Methods for Inspection of Aircraft Structural Materials, Transactions on Aerospace Research, no. 2 (259), pp. 27-35, 2020.
9. Гавриш, О. А., Бояринова К. О., Копішинська К. О. Розробка стартаппроектів. 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. Київ : КПІ ім. ІгоряСікорського, 2019. 188 с

ДОДАТОК