

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

Приладобудівний

(повна назва інституту/факультету)

Приладобудування

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК _____

(універсальна десятична класифікація.

Для визначення УДК конкретної дисертації

студенту слід звернутися в 1-й зал бібліотеки)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ М.Д. Гераймчук
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” грудня 2018 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістр**

зі спеціальності (спеціалізації) 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегрованої технології (комп'ютерно - інтегровані технології приладів точної механіки)
(код і назва спеціальності)

на тему: Гравіметр підвищеної точності _____

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ПМ-71мп
(шифр групи)

_____ Лемешев Максим Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник _____ Литвиненко Павло Леонідович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант Розробка СТАРТАП-проекту

(назва розділу)

_____ (посада, вчене звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

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

Факультет _____ Приладобудівний _____
(повна назва)

Кафедра _____ Приладобудування _____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність(спеціалізація) 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології (комп'ютерно - інтегровані технології приладів точної механіки)
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ М.Д. Гераймчук
(підпис) (ініціали, прізвище)

« _____ » листопад 2018 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

_____ Лемешев Максим Іванович _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Гравіметр підвищеної точності _____

науковий керівник дисертації Литвиненко Павло Леонідович к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «05» листопада 2018 р. № 4078-с

2. Строк подання студентом дисертації 6 грудня 2018р

3. Об'єкт дослідження Гравіметр _____

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою): вимірювана величина – аномалія прискорення сили тяжіння; діапазон вимірювань – 80-5000 мГал; похибка вимірювань – 0.1 мГал; максимальна маса – 8 кг; максимальні габаритні розміри: висота 500мм, ширина 250мм, довжина 25

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1. Огляд та аналіз матеріалів за темою магістерської дисертації. 2. Теоретичні та експериментальні дослідження: 2.1. Розробка математичної моделі об'єкту, що розробляється; 2.2. Експериментальні дослідження/моделювання (теоретичні дослідження) об'єкту; 2.3. Обробка отриманих результатів досліджень. 2.4. Аналіз отриманих результатів та висновки по адекватності розробленої моделі. _____

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу: Матеріали аналітичного огляду за темою магістерської дисертації – 1 аркуш формату А1. Схеми – 1 аркуш формату А1. Складальні кресленики – 1 аркуш формату А1. Графіки – 1 аркуш формату А1. Презентаційний аркуш – 1 аркуш формату А1. _____

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка СТАРТАП-проекту			

9. Дата видачі завдання 2 листопада 2018р

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Проведення огляду та аналізу об'єкта проектування	2 листопада – 20 листопада	
2.	Проведення проектних та конструкторських розрахунків	17 листопада – 30 листопада	
3.	Виконання графічної частини дисертації	20 листопада – 3 грудня	
4.	Оформлення та подання дисертації	До 6 грудня	

Студент _____ (підпис) _____ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації _____ (підпис) _____ (ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація «Гравіметр підвищеної точності»: 95 с., 32 рисунка, 39 джерел.

Об'єкт дослідження – кварцовці, струнні, гіроскопічні гравіметри, елемент Пльтьє.

Мета роботи - це підвищення стабільності і точності вимірювань гравіметра, розробка математичної моделі, температурна стабілізація приладу, розробка стартапу.

Метод дослідження – аналіз і синтез систем автоматичного регулювання температури корпусу гравіметра.

Досліджена температурна схема автоматичного регулювання, структурна схема гравіметра. Оцінена якість управління ситеми та приведені результати.

Результати виконання магістерської дисертації будуть використані при розробці гравіметра з термостабілізацією, який надаватиме нам більш точні та стабільні результати вимірів, що сприятиме підвищенню точності гравіметричних вимірювань.

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Master's thesis "High precision gravimeter": 95 p., 32 figures, 39 sources.

The object of research - quartz, strings, gyroscopic gravimeters, element Plytya.

The purpose of the work is to increase the stability and accuracy of measurements of a gravimeter, the development of a mathematical model, temperature stabilization of the device, the development of a startup.

The method of research - the analysis and synthesis of systems of automatic regulation of temperature of the case of a gravimeter.

The temperature scheme of automatic regulation, the graphic diagram of a gravimeter is investigated. The quality of the management of the system is estimated and the results are presented.

The results of the master's thesis will be used in the development of a thermosetting gravity meter, which will provide us with more accurate and stable measurement results, which will improve the quality of the analysis of the earth's surface.

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	7
1. Огляд та аналіз матеріалів за темою магістреської дисертації	8
1.1.1 Гравіметрична зйомка.....	8
1.2 Методи вимірювання сили тяжіння.....	13
1.2.1 Маятниковий метод	13
1.2.2 Балістичний метод.....	16
1.2.3 Струнний метод.....	18
1.2.4 Статичні методи	20
1.2.5 Гравіметри наземні кварцові	21
1.2.6 Гравіметри на основі скомпенсованих маятникових елементів.....	21
1.2.7 Струнні гравіметри.....	24
1.2.8 Гіроскопічні гравіметри	25
1.2.9 Детальний опис гравіметра ГНУ-КВ	26
2. Теоретичні та експериментальні дослідження.....	38
2.1 Експериментальні дослідження об'єкту.....	39
2.1.1 Температурна стабілізація гравіметра	39
2.1.2 Функціональна схема автоматичного регулювання температури корпусу гравіметра. ...	41
2.1.3 Структурна схема автоматичного регулювання температури гравіметра	42
2.1.4 Структурна схема системи термостабілізації корпусу гравіметра	44
2.1.5 Реалізація вузла порівняння	45
2.1.6 Реалізація пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора.....	46
2.1.7 Оцінка якості управління системи автоматичного регулятора температури корпусу гравіметра.....	50
2.1.8 Реалізація широко-імпульсного регулятора	52
2.2 Обробка та аналіз отриманих результатів	58
3 Розробка стартап проекту «Гравіметр підвищеної точності».....	61
3.1 Опис ідеї проекту.....	61
3.2 Технологічний аудит ідеї проекту	63
3.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту	64
3.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	71
3.5 Розроблення маркетингової програми стартап проекту	73
3.6 Висновки	77
Висновок	78
Список літератури.....	79

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Вступ

Вимірам аномалії сили земного тяжіння сьогодні приділяється багато уваги. Без їх дослідження неможливе вивчення будови земної кори, розрахунок траєкторії літальних апаратів, пошук корисних копалин та вирішення аграрних задач. Для цього використовують гравіметричну зйомку. Гравіметричну зйомку поділяють на пошукову (профільну) й детальну (площинну), яка залежить від заданих задач. Для того, щоб вивчити будову земної кори, потрібно дослідити аномалію сили тяжіння за допомогою регіональної зйомки. Між кожним пунктом спостереження відстань може змінюватись від 1000 до 10000 метрів. Мета пошукової зйомки – це виявити локальні структури, які мають перспективу для пошуку корисних копалин. Між пунктами зйомки має бути не менше 1000 метрів. Призначення такої зйомки є розвідка окремих різних структур і родовищ. Гравіметрична зйомка поділяється на маршрутну та площинну. Профільна зйомка проводиться на різних профілях, що задаються по різних напрямкам планового простягання геологічних структур. Ця зйомка використовується при розвідувальних та пошукових роботах. Площинна зйомка – це основний вид. При ній вся область рівномірно покривається мережею спостережень. Щільність точок спостереження залежить від таких чинників: масштаб зйомки, характер поля сили тяжіння, очікувані розміри та глибина залягання об'єктів. Оптимальний крок спостереження менший у 1,5 – 3 рази від очікуваної глибини залягання. При зйомці з гравіметрами вимірюють відносні значення сили тяжіння послідовно у всіх пунктах відносно однієї вихідної, опорної точки району досліджень, прив'язаної до пунктів загальнодержавної опорної мережі, у яких відомі абсолютні значення сили тяжіння.

Актуальність теми магістерської дисертації в тому, щоб виміри сили земного тяжіння не мали похибок та були стабільними. Існує необхідність

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ

Арк.

7

модернізації обладнання будівельних, аграрних та дослідних фірм. Ціль магістерської дисертації - розробити математичну модель, провести експериментальні дослідження, обробити отримані данні, провести аналіз отриманих результатів гравіметра [1].

1. Огляд та аналіз матеріалів за темою магістреської дисертації

1.1.1 Гравіметрична зйомка

Гравіметрична зйомка заснована на вивченні сили гравітаційного тяжіння тіл до поверхні Землі. При проведенні гравіметричної розвідки просліджують аномалії сили тяжіння, обумовлені неоднорідностями щільності гірських порід. Гравіметрична найчастіше використовується для геологічного картування [2].

При гравіметричній зйомці великих площ спочатку розбивається мережа польових опорних точок, прив'язаних до опорних точок регіональної мережі країни, а потім уже виконуються рядові спостереження у всіх точках району.

Насамперед варто розрізняти види робіт з місця їхнього проведення. Тут виділяють наземну, морську, повітряну, підземну й свердловинну зйомки. Не менш важливий поділ по масштабу робіт. Зйомки, проведені для виявлення регіональних аномалій і найбільш загальних закономірностей структури поля в масштабах 1 : 200 000 і дрібніше, називають регіональними. Вони дають конкретні відомості лише про глибинну будову літосфери. Однак за результатами регіональних зйомок можна виділити

окремі великі аномальні зони, де потім робляться так звані пошукові зйомки. Вони виконуються в масштабах 1:100000 - 1:50000 і звичайно спрямовані на

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пошук родовищ корисних копалин. Якщо вони дають позитивний результат, то це і є підставою припускати перспективність даного регіону на проведення розвідувальних зйомок у масштабі крупніше 1:10000. [3]

Масштаб зйомки визначається в загальному випадку відстанню між профілями. Це відстань повинна укладатися приблизно в 1см звітної карти. При цьому масштаб зйомки повинен відповідати стандартним масштабам, прийнятим у геодезії (1:10000, 1:25000; 1 : 50000 і т.д.). Наприклад, зйомка, виконувана по мережі 200 * 100 м, відповідає масштабу 1:25 000. Залежно від масштабу зйомки класифікуються на дрібномасштабні (масштаб 1:100 000 і дрібніше), середньомасштабні (1:25000 - 1:50000) і великомасштабні (1:10000 і крупніше) [4].

Одним з найважливіших етапів методики є вибір масштабу зйомки. Від нього залежить і густота мережі, оскільки відстань між профілями на карті не повинна перевищувати 1 см у масштабі зйомки. Наприклад, при проведенні розвідницької зйомки в масштабі 1:10000 відстань між профілями повинна становити не більше 100 м. Крок по профілю (тобто відстань між точками профілю) або дорівнювати відстані між профілями (при квадратній зйомці), або менше його, але не більш ніж в 5 разів (при прямокутній зйомці). Профілі розташовуються вкрест очікуваного простягання об'єктів аномальної щільності. Довжина профілю повинна в 5 - 10 разів перевищувати ширину шуканих тіл.

Зйомки проводяться рейсами, що починаються й закінчуються на опорних пунктах. Опорна мережа розбивається для обліку сповзання нуля-пункту й знаходження абсолютних значень прискорення сили тяжіння. Вона включає до 5 - 10% від загального числа точок спостереження, рівномірно розподілених по площі. Точність визначення прискорення сили ваги на опорних точках повинна в 1,5 - 2 рази перевищувати точність рядових

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

спостережень. Це досягається використанням більш високоточних приладів, багаторазовими вимірами на опорних точках, скорочення проміжку часу між вимірами на сусідніх точках шляхом використання транспорту. При створенні опорної мережі від 50 до 100% всіх спостережень повинні становити повторні (контрольні). Існує кілька способів розбивки опорної мережі. Широко поширені виміри по центральній системі, коли один з опорних пунктів (центрального) має зв'язку з усіма іншими, тобто з'єднаний з кожним з них однією ланкою. Іноді розбивка мережі здійснюється по системах, що не передбачають наявності центральної точки [5].

Абсолютні значення сили тяжіння у кожній точці можуть бути визначені шляхом алгебраїчного підсумовування абсолютного значення сили тяжіння у вихідній (опорній) точці і відносному значенню сили тяжіння в даній точці. Відстань між точками робочої опорної мережі обирають такою, щоб оператор при проведенні рядових рейсів мав можливість брати відліки на опорних пунктах через кожні 2÷4 години. В залежності від масштабу зйомки відстань ця коливається від 1 до 20 км. Пункти опорної мережі повинні розташовуватися рівномірно на площі, мати зручні під'їзди і бути добре орієнтованими. Спостереження в точках опорної мережі виконуються з підвищеною точністю (~ у 2 рази вище, ніж у точках рядової мережі за рахунок більш чутливих і точних гравіметрів чи багаторазових спостережень) замкнутими рейсами, що включають 1-2 вихідні точки державної мережі. Бажано, щоб опорна мережа включала й всі магістральні профілі рядової мережі. Усі рядові рейси повинні починатися і закінчуватися на точках опорної мережі. Цим враховується сповзання нуля-пункту. Рядові спостереження проводять або за методикою однократних спостережень, або з повторенням частини точок при зворотному ході. При методиці однократних спостережень рейс починають з опорної точки, потім проводять

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимірювання в рядових точках і до вечора — на тій же опорній точці. Протягом дня повинні бути взяті 2-3 відділки на опорних точках. При зйомці з повторенням щодня починають виміри на одній і той самій опорній точці. Повторенням охоплюється приблизно третина точок. Контрольними і повторними спостереженнями звичайно охоплюється від 10 до 30 % рядових точок. Індивідуальні особливості приладу оцінюються шляхом його систематичних перевірок. Вони включають визначення ціни поділки, температурного коефіцієнта і зсуву нуля-пункту [6].

Для забезпечення високої точності проведення робіт необхідна висока точність супутніх гравіметричним дослідженням топогеодезичних робіт, за допомогою яких встановлюються географічні координати пунктів спостережень, їхнє перевищення над рівнем моря, а також геометрія навколишньої місцевості. Так, похибка в оцінці координат пункту спостережень тільки на 100 м і по висоті на 1 м дає похибку в оцінці нормального значення сили тяжіння порядку $8 \cdot 10^{-7} \text{ м/с}^2$.

Варіометричні і градієнтометричні зйомки проводять при детальному геологічному картуванні і при пошуках локальних рудних тіл, зон тріщинуватості, контактів порід тощо. Пункти спостережень при цьому необхідно розташовувати на рівній місцевості у віддаленні від глибоких ярів і височин.

В останні роки також досить успішно виконуються гравіметричні зйомки за допомогою приладів, установлених на кораблях, підводних човнах і літаках. З цією метою застосовуються як маятникові прилади, так і статичні гравіметри. При цьому маятникові вимірювання використовуються в якості опорних. На мілководних ділянках (2÷3 м) ці дослідження проводяться звичайними гравіметрами, установлюваними на спеціальні штативи. При вивченні шельфу (до глибин 200÷300 м)

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

користуються спеціальними донними гравіметрами. На глибоководних ділянках виміри проводяться спеціальними (надводними і підводними) гравіметрами. При обчисленні аномалій за результатами морських і повітряних гравіметричних зйомок вводять велику кількість поправок. Досягнута зараз точність подібних зйомок складає $1 \cdot 10^{-5} \div 10^{-5} \text{ м/с}^2$ на підводному човні і $2 \cdot 10^{-5} \div 3 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$ на борті звичайного корабля. Велике значення для кореляції по густині розрізів свердловин, визначення густини розбурених тіл, обчислення гірського тиску й акустичної жорсткості гірських порід, мають гравіметричні спостереження в свердловинах. Вони виконуються спеціальними свердловинними гравіметрами.

Найбільш докладну інформацію про аномальне гравітаційне поле території одержують, використовуючи варіометричну зйомку за допомогою варіометрів і градієнтометрів. Особливо ефективна варіометрична зйомка (варіометрія) при пошуках і розвідці невеликих, неглибоко залягаючих об'єктів. Варіометричну зйомку звичайно, виконують по системі рівнобіжних профілів. Відстані між профілями і відстані між точками на профілі вибирають з таким розрахунком, щоб для вимірів даної точності зміни шуканої величини між сусідніми точками можна було б вважати лінійними. Практично крок зйомки з варіометром може бути меншим 10 м. Прилад установлюють на спеціально вирівняній площадці радіусом не менш 2 м. У зоні 50 м виконують спеціальне геометричне нівелювання для введення так званої топографічної поправки. Врахування впливу рельєфу місцевості за межами 50-метрової зони виконується за допомогою великомасштабних гіпсометричних карт. Відповідні поправки називаються картографічними. Результати варіометричних зйомок представляють у вигляді карт векторів і кривизн, карт ізоаномал похідних W_{xz} і W_{yx} , кривих градієнтів кривизни [7].

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Методи вимірювання сили тяжіння

Методи вимірювання сили тяжіння базуються на фізичних явищах, на які сила тяжіння здійснює помітний вплив: вільне падіння тіл, коливання маятника або напруженої струни, рівновага пружинних або крутильних терезів.

Абсолютними є вимірювання, коли вимірюється повна величина прискорення вільного падіння g .

Тривалий час вимірювання g проводили маятниковим способом. У цьому способі вимірювання полягають у вивченні залежності періоду T коливань математичного маятника від величини поля сили тяжіння. Абсолютні маятникові вимірювання досить трудомісткі. Одне вимірювання може проводитися протягом доби. На результати маятникових спостережень істотно впливають похибки вимірювання довжини маятника і часу.

Абсолютне значення поля сили тяжіння в даний час вимірюють за допомогою балістичних гравіметрів. Метод вимірювання абсолютних значень сили тяжіння полягає у реєстрації часу вільного падіння пробної маси в вакуумній камері з відомої висоти. Вимірювання називаються відносними (статичними), якщо вимірюється приріст сили тяжіння між двома пунктами спостереження. [8]

1.2.1 Маятниковий метод

Маятниковий метод отримав найбільш широке поширення серед інших динамічних методів, застосовувався на практиці протягом майже двох століть і був доведений до високого ступеня досконалості.

Маятником можна вважати будь-яке тверде тіло, що здійснює вільні коливання відносно горизонтальної осі. В теорії методу розглядають математичний і фізичний маятники. Математичний маятник являє собою матеріальну точку з масою m , підвішену на абсолютно нерозтяжну і невагому нитку довжиною ℓ (рис. 1). Кут φ відповідає максимальному відхиленню

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

маятника від положення рівноваги і називається амплітудою коливань. Час, необхідний маятнику для проходження від одного крайнього положення $+\varphi$ до іншого крайнього положення $-\varphi$, називається періодом коливань T маятника. Диференціальне рівняння руху математичного маятника має вигляд:

$$d^2\varphi/dt^2 = - (g/l) \sin \varphi \quad (1.1)$$

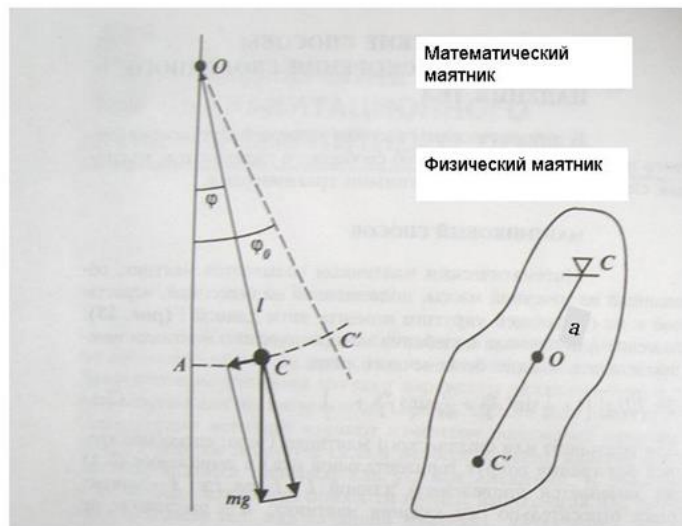


Рис. 1 Математичний та фізичний маятники

Рішення цього рівняння дається у вигляді:

$$T = \pi \sqrt{l/g} \left\{ 1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \sin^2 \frac{\varphi_0}{2} + \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 \sin^4 \frac{\varphi_0}{2} + \dots \right\} \quad (1.2)$$

Як видно з останньої рівності, період залежить від амплітуди. При малих амплітудах, коли можна вважати $\sin \varphi = \varphi$, період коливань маятника не залежить від амплітуди (це властивість маятника називається ізохронністю) і рівність (1.2) набуває вигляду формули Гюйгенса:

$$T = \pi \sqrt{l/g} \quad (1.3)$$

Зазвичай при гравіметричних вимірах амплітуда коливань маятника не перевищує 1, тому умова $\sin \varphi = \varphi$ практично виконується і з формули (1.3) отримаємо:

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

$$g = \left(\frac{\pi}{T}\right)^2 l \quad (1.4)$$

Наведену довжину фізичного маятника важко визначити з достатньою точністю, наприклад, для маятника з наведеної довжиною $l = 100$ см ($T \approx 1$ с) при заданій похибці вимірювання прискорення сили тяжіння $0,1$ МГЛ період коливань і довжину треба вимірювати з допустимими похибками відповідно $3, 5$ 10^{-8} с і $0,07$ мкм. Тому для визначення абсолютних значень g використовують спеціальні оборотні маятники. Абсолютне значення сили тяжіння необхідно знати хоча б в одній точці. В даний час таким пунктом є Потсдамській геодезичний інститут, до якого віднесені всі гравіметричні зйомки світу. Тут визначення абсолютного значення сили тяжіння було проведено під керівництвом Гельмерта в 1898 -1904 р.р. На підставі 192 визначень отримано абсолютне значення сили тяжіння $981\,274 \pm 3$ МГЛ.

При сучасному стані техніки точність цього методу не може бути підвищена через низку важко прогнозованих факторів: подовження маятника під дією власної ваги, деформації опор, неточності вимірювання наведеної довжини і ін.

Маятниковим методом проводять і відносні вимірювання (якщо в одному з пунктів відомо повне значення сили тяжіння g_1). В останньому випадку, якщо виміряти періоди хитання маятника в двох пунктах T_1 і T_2 , то, з огляду на формулу (2.38):

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{g_2}{g_1}, \text{ звідки слідує } g_2 = \frac{T_1^2}{T_2^2} g_1 \quad (1.5)$$

Гравіметри для відносних вимірів сили тяжіння застосовувалися для створення опорних гравіметричних мереж і забезпечували похибки визначення відносних значень сили тяжіння близько $0,1$ МГЛ при вазі близько 90 кг і циклі одного виміру $15 - 20$ хв. Однак останнім часом вони були витіснені приладами, заснованими на балістичному методі вимірювання. [9]

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2.2 Балістичний метод

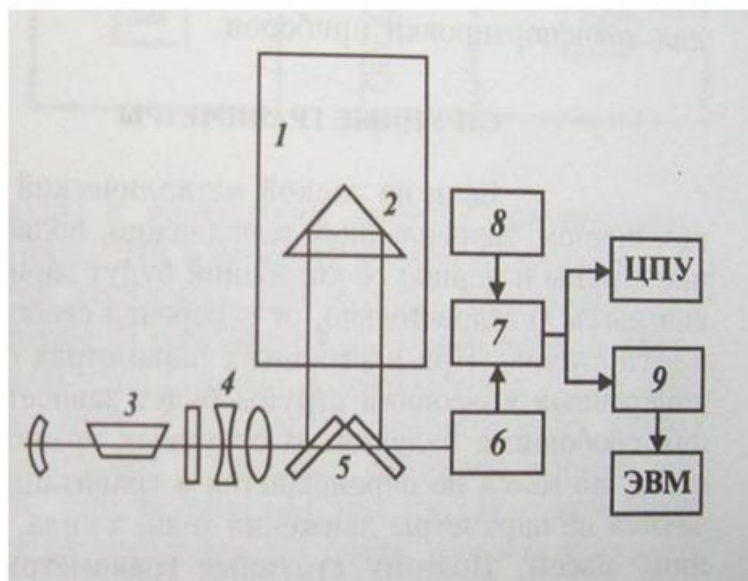
Балістичний метод заснований на залежності часу падіння тіл в вакуумі

(t) від значення сили тяжіння (g): $h = \frac{gt^2}{2}$, звідси

$$g = \frac{2h}{t^2}, \quad (1.6)$$

де h - висота, з якої падає об'єкт при нульовій початковій швидкості. Схема вказана на рис.2.

Через вимоги високої точності визначення величини t , тільки в 60-х роках 20 століття, із застосуванням лазерної техніки, з'явилася можливість конструювати прилади для вимірювання сили тяжіння цим методом. Крім того, як було встановлено, величини h і t можна відраховувати від початку падіння, так як при звільненні тіло може отримати додаткове прискорення. Найбільш прийнятним виявилось кидати тіло вгору і вимірювати час, за який тіло проходить певний відрізок шляху при підйомі і падінні.



1 – вакуумная камера, 2 – угольный отражатель, 3 – лазер, 4 – коллиматор, 5 – полупрозрачные зеркала, 6 – фотоумножитель, 7 – счетный блок, 8 – генератор меток времени, 9 – перфоратор, ЦПУ – цифropечатающее устройство.

Рис. 2 Схема балістичного інтерферометра для визначення абсолютних значень сили тяжіння.

У цьому випадку формула для розрахунку значення g досить проста:

$$g = \frac{8h}{t_1^2 + t_2^2}, \quad (1.6)$$

де t_1 і t_2 - проміжки часу між перетинами тілом спеціальних щілин при русі його вгору і вниз.

У різних країнах за кордоном розроблені і застосовуються кілька типів балістичних гравіметрів. Майже всі вони представляють собою експериментальні зразки. У Сибірському відділенні АН РФ розроблений балістичний гравіметр, в якому застосовується інтерферометр Майкельсона з газовим лазером. У вакуумній камері падає кутовий відбивач, орієнтується по вертикалі в крайньому верхньому положенні за допомогою агатової опори. Оптична система інтерферометра містить стабілізований лазер, коліматор, напівпрозорі дзеркала, що ділять промінь на дві частини, і фотопомножувач. В рахунковому блоці здійснюється вимір шляху і часу. Величина g визначається за кількістю інтерференційних смуг, утворених при накладенні прямого і зворотного променя лазера від падаючого кутового відбивача. Для обробки результатів використовується комп'ютер. Один цикл вимірювання – підйом та падіння кутового відображувача, а також обробка результату – займає приблизно 12с.

За одну годину, включаючи паузи, можна зробити близько 200 циклів. За кілька годин може бути досягнута точність в кілька сотих МГЛ. Для досягнення точності вище 0,01 МГЛ спостереження ведуться цілодобово. Повний комплект установки має масу в кілька сотень кілограмів, але розділяється на окремі транспортні частини. Балістичні гравіметри-інтерферометри використовуються зараз для геодезичних вимірювань і для створення опорних гравіметричних мереж [10].

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2.3 Струнний метод

Струнний метод заснований на вимірах власних поперечних коливань струни, натягнутої вантажем. Якщо підвісити масу на тонкій металевій нитці (струні), то натяг струни і відповідно період коливань будуть залежати від ваги маси, довжини і ваги струни. При постійних параметрах струни і вантажу зміни сили тяжіння виявляються в зміні частоти коливань струни. Схема вказана на рис.3.

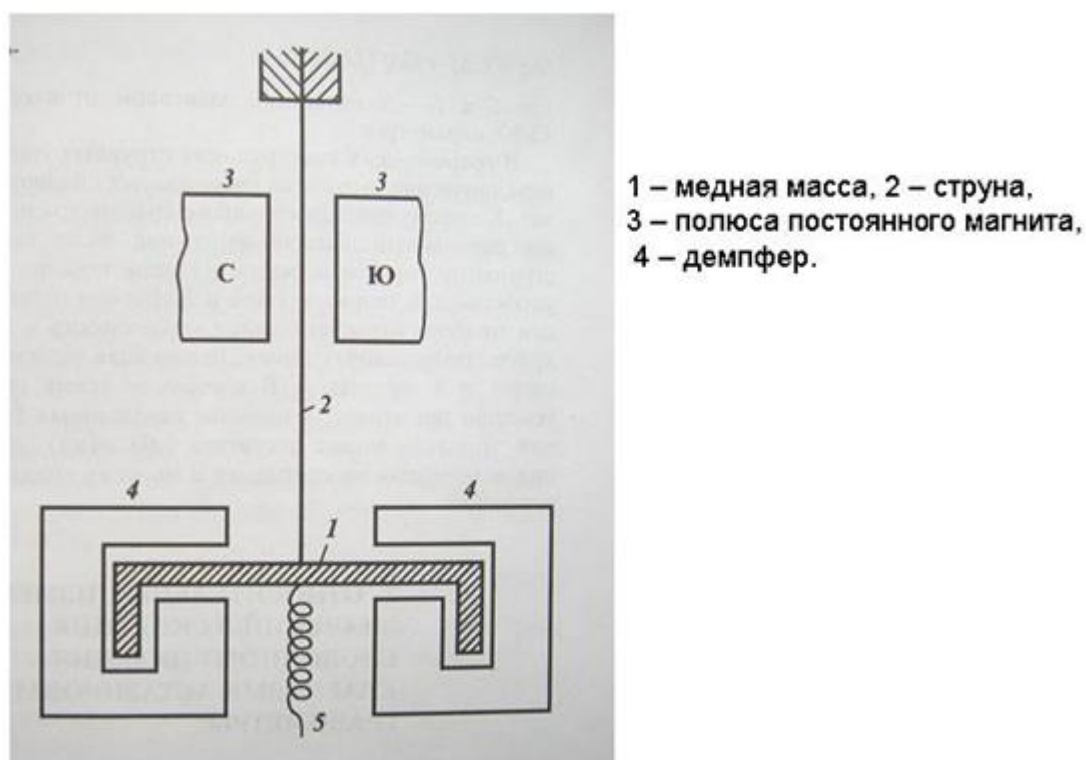


Рис. 3 Загальна схема пристрою струнного гравіметра

Частота коливань (f) ідеально гнучкої струни визначається:

$$f = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{Mg}{l}} \quad (1.6)$$

де L - довжина струни, M - маса вантажу, підвішеного на струні, l - лінійна щільність струни (г / см). Звідси:

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$g = \frac{4L^2 f^2 l}{M} \quad (1.7)$$

Цей принцип в абсолютних вимірах не використовується через складнощі визначення ефективної довжини реальної струни.

Для відносних вимірювань використовується вантаж підвішений на струні, що проходить між полюсами постійного магніту, тому коливання струни призводять до виникнення в ній змінного струму. Щоб струм не згасав, струна включена в контур з позитивним зворотним зв'язком, утворюючи струнний генератор.

Частота струнного генератора множиться і порівнюється з частотою еталонного генератора. Для усунення поздовжніх коливань струни застосовується електромагнітне демпфірування за допомогою постійних магнітів, можливість маятникових коливань обмежують плоскі горизонтальні пружини.

Зміна напруженості поля Δg пов'язано зі зміною частоти коливань струни Δf квадратичною залежністю:

$$\Delta g = C \cdot \Delta f + C \frac{\Delta f^2}{2f_0} \quad (1.8)$$

$$C = 2g_0 \left(\frac{1+R}{M_g} \right) \cdot \frac{1}{f_0} \quad (1.9)$$

$$f_0 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{M_g + R}{\sigma \cdot S}} \quad (1.10)$$

M - маса вантажу, l - довжина струни, σ - щільність матеріалу струни, S - площа поперечного перерізу струни, R - величина, що залежить від параметрів допоміжних пружин.

Оскільки точне вимірювання величин, що визначають коефіцієнт C , є складним завданням, тут застосовують способи градування, які використовуються в статичних гравіметрах.

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переваги струнного гравіметра - практично необмежений діапазон виміру і мала залежність частоти коливань струни від температури, а також простота вимірювань і цифрової реєстрації.

Недоліки струнного гравіметра - слабка стійкість до впливу вібрацій та інших інерційних перешкод, а також нелінійна залежність між Δg і f .

Струнні гравіметри застосовують для вимірювань в свердловинах та іноді - на літаках і морських судах [11].

1.2.4 Статичні методи

Для гравірозвідних цілей найчастіше використовують статичні методи відносних вимірів сили тяжіння. У цих методах вимірювання збільшення сили тяжіння Δg здійснюються за принципом компенсації, тобто дію сили тяжіння компенсується пружними силами пружин, газів або рідини і система при дії сили тяжіння залишається в рівновазі. Мірою сили тяжіння служить величина компенсує сили.

Найбільше застосування в гравірозвідки отримали статичні гравіметри з механічною компенсацією. Принцип вимірювань і конструкція чутливої системи у всіх цих гравіметрів однакові, а зовнішні відмінності продиктовані специфікою середовища вимірювань.

Сучасні статичні гравіметри - легкі переносні прилади, що дозволяють вимірювати приріст сили тяжіння з високою точністю при великій продуктивності. Більшість сучасних гравіметрів вимірюють збільшення сили тяжіння з похибкою 0,05 - 0,02 МГЛ (а спеціальні гравіметри до 0,001 МГЛ). Тривалість одного спостереження зазвичай не перевищує 3 хвилин, вага гравіметра становить близько 6 - 7 кг.

Поряд з перевагами, статичні гравіметри мають і недоліки, головним з яких є зміщення нуля-пункту, що приводить до безперервного монотонного зміни показань, тому доводиться виконувати повторні спостереження і вводити поправки [12].

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2.5 Гравіметри наземні кварцові

В даний час на виробництві в Україні використовуються неавтоматизовані гравіметри ГНУ-КС (Гравіметри наземні вузько діапазонні з кварцовою чутливою системою класу С), ГНУ-КВ і ГНУ-КА. Їх чутливі системи виготовляються з хімічно чистого плавленого кварцу. До цих гравіметрів випускалися ще гравіметри, що називалися ГАК (гравіметр астазований кварцовий), зазнали ряд удосконалень - ГАК-3М, ГАК-4м, ГАК-ПТ, ГАК-7т та ін

Кварцова система гравіметра поміщена в корпус циліндричної форми і ретельно ізолювана від зовнішнього середовища. З корпусу відкачується повітря. Таким чином, кварцова система перебуває у вакуумі, що підвищує її чутливість і усуває вплив механічних часток і водяної пари на положення рівноваги маятника.

При вимірах в русі застосовують струнні гравіметри, які застосовуються для відносних вимірювань Δg , що визначається за зміною частоти коливань напруженої струни.

Аналогічні до кварцових автоматизовані гравіметричні комплекси створені для морських і аерогравіметричних вимірювань. У морських гравіметрах чутливу кварцову систему поміщають в рідину. Це забезпечує температурну компенсацію і критичне демпфування [13].

1.2.6 Гравіметри на основі скомпенсованих маятникових елементів

Гравіметр Ла-Косте—Ромберга (рис. 4) розроблений Інститутом геофізики США під керівництвом Ла-Коста та Ромберга у 1959 р. В основу принципу дії гравіметра покладено ідею вертикального сейсмографа Голицина. На тонкій горизонтальній нитці, яка є віссю обертання, закріплений горизонтально розташований важіль з тягарем на кінці (маятник). За зміни ПСТ маятник із тягарем на кінці відхиляється від

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

горизонтального положення, розтягуючи головну пружину і закручуючи нитку підвісу доти, доки момент ПСТ не буде врівноважений моментом головної пружини і моментом закручування осей підвісу [14].



Рис. 4. Гравіметр Ла-Косте—Ромберга

Гравіметр Асканія-Граф GSS-2 розроблений А. Графом у лабораторії фірми Асканія-Верке, Німеччина. Пружна система приладу складається із важеля з тягарем, що на кінці підтримується двома горизонтально розташованими гвинтовими пружинами. Мірою виміру ПСТ слугує переміщення тягара. Тягар переміщують за допомогою мікрометричного пристрою. Випробування показали точність 10 мГал.

Гравіметр ГІ 1/1 (рис. 5), розроблений ВАТ «Раменський приладобудівний завод», Росія, призначений для визначення ПСТ із рухомих об'єктів з метою геологічної розвідки нафтогазоносних структур та інших корисних копалин за Δg Землі. Основна сфера застосування гравіметра — літакові і вертолітні геофізичні комплекси, які здійснюють високопродуктивну розвідку корисних копалин, особливо у важкодоступних районах Землі та у морських геофізичних комплексах [15].

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 5 Гравіметр ГІ 1/1.

Точність вимірювання без урахування похибки зовнішньої інформації, мГал: з морських носіїв 4,3—5,5; з наземних — 4,2—5,3; з повітряних носіїв 6,0 з урахуванням похибки зовнішньої інформації при інтервалі 100 с.

Гравіметр «Чекан-АМ» (рис. 6), розроблений ВАТ концерн «ЦНДІ «Електроприлад», Росія, призначений для проведення повітряного і морського гравіметричного знімання поверхні. Гравіметр складається з гравіметричного датчика і гіростабілізатора з вбудованою системою керування на мікроконтролерах. Гравіметричний датчик виконаний на основі подвійної кварцової пружної системи з оптикоелектронним перетворювачем лінійного типу. Точність вимірювань 6 мГал [16].

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 6 Гравіметр «Чекан-АМ».

Магнітні гравіметри МАГ-1М, GT-1А, GT-2А. Розроблені в ЗАТ «Гравіметричні технології», Росія. Чутливий елемент містить інерційну масу у вигляді плоскої котушки у зазорі диференціальної магнітної системи, яка складається із чотирьох магнітів. Метод компенсації маятникового моменту у таких гравіметрах полягає у повороті постійного магніту відносно маятникового ротора навколо вихідної осі приладу і взаємодії радіального магнітного поля, що утворюється двома постійними магнітами симетричної конструкції, та контрольного струму, що проходить через котушку чутливого елемента. Дослідження АГС на основі перелічених магнітних гравіметрів показали точність на рівні 5 мГал [17].

1.2.7 Струнні гравіметри

Перший макет струнного гравіметра був створений у 1948 р. у Кембриджському інституті геодезії і геофізики, а ідею цього приладу запропонували вчені Росії Л. І. Мендельштам і Г. П. Папелески. Найвідоміший струнний гравіметр — це гравіметр ГСД-М, створений в 1960-х роках під керівництвом А. М. Лозинської. Подальші дослідження очолював В.О. Багрянец у ВНДІ Геофізики. Принцип дії струнних гравіметрів ґрунтується на властивості струни змінювати частоту власних коливань за

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зміни її натягу. Вимірювання прискорення сили тяжіння зводиться до вимірювання частоти коливання струни. На сьогодні достатньо відомий та застосовуваний гравіметричний комплекс «ГРАВІТОНМ» (розробка ВНДІ Геофізики, ДНВП «Аерогеофізика» та МДТУ ім. М. Е. Баумана), який містить вимірювальний блок з трьох струнних гравіметрів, гіроінерціальну платформу, двочастотні індикатори приймачів супутникової навігаційної системи GPS, блок реєстрації та обробки даних з відповідним пакетом програм (рис. 7) [18].

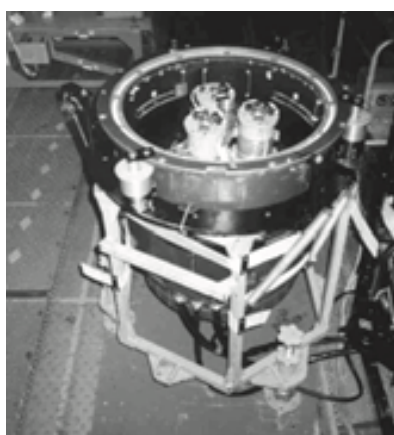


Рис. 7 Гравіметричний комплекс «ГРАВІТОН-М».

1.2.8 Гіроскопічні гравіметри

Відомі на цей час гіроскопічні гравіметри, що містять гіроскопічний маятник, зв'язаний з рамою за допомогою горизонтального осьового підвісу, перпендикулярного до осі обертання гіроскопа, є одними із найточніших гравіметрів АГС.

Гравіметри типу PIGA, розроблені Массачусетським технологічним інститутом, мають відносно високу чутливість, їх використовують як гравіметри АГС та елементи систем навігації (точність 3 мГал). Однак такий гравіметр має одну вісь чутливості, паралельну вісі обертання гіроскопа щодо платформи, і вимірює проекцію g на цю вісь. Для визначення напрямку гравітаційної вертикалі потрібна дуже точна стабілізація осі чутливості

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гравіметра у напрямку гравітаційного поля Землі.

Відомі гравіметри авіаційної гравіметричної системи мають суттєві недоліки:

- 1) недостатньо висока точність вимірювання (3—10 мГал);
- 2) обов'язкова необхідність застосування процедури фільтрації вихідного сигналу гравіметра АГС;
- 3) нестабільність статичного передатного коефіцієнта гравіметра АГС, спричинена змінами властивостей конструктивних елементів;
- 4) невисока швидкість і відсутність можливості оперативної обробки інформації та ін [19].

1.2.9 Детальний опис гравіметра ГНУ-КВ

Гравіметр складається з двох складальних одиниць: датчика з струнною системою і теплозахисного герметичного корпусу. Головною частиною датчика є струнна система, що складається з трьох основних частин: струна, підвішений вантаж та магніт.

Чутливий елемент системи - астазирований вертикальний сейсмограф Голіцина - складається з маятника, утримуваного в рівновазі силою закручування ниток підвісу і пружною силою головної пружини. Головна пружина своїм верхнім кінцем кріпиться до важеля, а нижнім кінцем - до маятника.

Вимірювальний пристрій системи складається з рамки, яка може обертатися на нитках підвісу. На кінцях рамки є два стержня, до яких прикріплені діапазонна і вимірювальна пружини. Їх верхні кінці прикріплюються до рухомих штокам вимірювального і діапазонного пристроїв.

Пристосування для температурної компенсації складається з металевої нитки, прикріпленої верхнім кінцем до станини, а нижнім кінцем

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- до важеля, який може обертатися на нитках власного підвісу. Другий кінець важеля з'єднується тонкої кварцової ниткою з одним з кінців проміжного важеля, пов'язаного з верхнім кінцем головної пружини.

Принцип дії системи полягає в наступному: при зміні прискорення сили тяжіння (наприклад, при його збільшенні) маятник буде відхилятися від початкового положення рівноваги до тих пір, поки сили, викликані деформацією головної пружини і ниток підвісу маятника не врівноважує зміна сили тяжіння.

Гравіметр складається з корпусу (рис.8) з чутливою системою і працюючими елементами, зовнішнього теплоізолюючого контейнера. Зовнішній контейнер являє собою сталевий циліндр (кожух) (2) з установочними гвинтами (4) внизу. По дну і стінках кожуха прокладений шар теплоізоляції. У контейнер вставляється посудину Дьюара (3) - порожнистий циліндричний стакан з посрібленими подвійними стінками. Корпус гравіметра, в якому встановлені стійкі для кріплення кварцовою системи, являє собою герметичний металевий стакан, з якого викачане повітря.

Будь-який ремонт, пов'язаний з розкриттям системи гравіметра, виконується тільки в спеціалізованій майстерні експедиції. На верхній панелі гравіметра розташовані рівні (11), відліковий пристрій (10) з мікрометричним гвинтом, Г-подібний термометр, отвір для доступу до діапазону гвинта, яке закрито текстолітовими стрижнем, окуляр мікроскопа (7), патрон для лампи і отвір для доступу до штуцера, через який викачується повітря з системи. Корпус гравіметра вставлений в посудину Дьюара. Для більш щільного з'єднання та уникнення пошкоджень судини Дьюара на корпус гравіметра надітий шерстяний чохол [20].

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

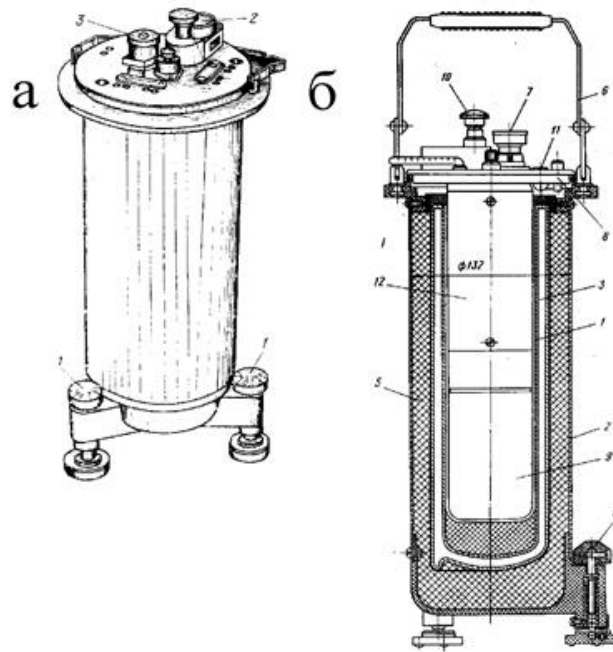


Рис. 8 Загальний вигляд гравіметра ГНУ/КВ - зовнішній вигляд гравіметра: 1 - регулюючі гвинти; 2 - відліковий мікрометричний пристрій; 3 - окуляр. б - Розріз гравіметра: 1 - середня частина гравіметра; 2 - зовнішній кожух; 3 - посудина Дьюара; 4 - регулювальний гвинт; 5 - теплоізоляція; 6 - ручка для перенесення; 7 - окуляр; 8 - верхня плата; 9 - вакуумна камера; 10 - відліковий мікрометричний пристрій; 11 - рівень; 12 - теплозахисний стовп.

Гравіметр ГНУ-КВ — один з кращих вітчизняних гравіметрів. Він розроблений на базі гравіметрія ДАК-3М, ДАК-4М, КВГ-1М. Точність вимірювання 0,03-0,06 мгл, вага 7,5 кг.

Пружна система гравіметра. Головною деталлю гравіметра є пружна кварцова система, що складається з трьох основних частин: чутливого елемента, вимірювального пристрою і температурного компенсатора.

Чутливий елемент (рис. 9) являє собою маятник, що складається з важеля 1 з вантажем 2 на кінці, припаяного до горизонтальної кварцової нитки (нитка спрямована перпендикулярно до площини креслення і проектується на площині в точці 3). Навколо нитки маятник здійснює вертикальні переміщення, то закручуючи її, то послаблюючи. Його

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вертикальні переміщення під дією сили тяжіння обмежені спеціальним обмежувачем до декількох десятих часток міліметра. На кінці маятника надіта платинове навішування 2 для збільшення маси. Маятник має індекс 6 – тонкий кварцовий волосок, який видно в мікроскоп приладу.

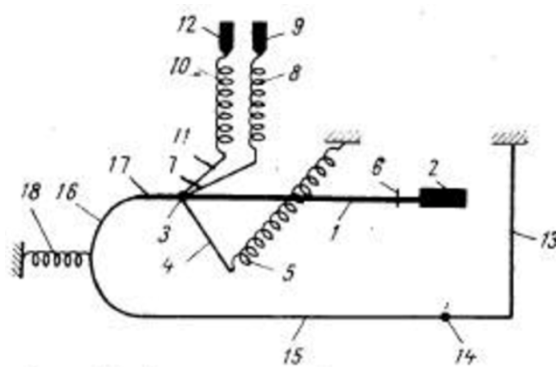


Рис.9 Чутливий елемент

Для підвищення чутливості приладу система забезпечена астазируючим пристроєм, що складається з головної пружини 5, яка з'єднується з маятником за допомогою стрижня 4.

Вимірювальний пристрій складається з вимірювальної пружини 8 і діапазонної пружини 10, з'єднаних з головною ниткою кварцовими відростками 7 і 11.

Принцип дії приладу полягає в наступному. При горизонтальному положенні маятника зображення індексу поєднане з нульовим діленням шкали.

При збільшенні сили тяжіння момент гравітаційної сили збільшується, маятник 1 відхиляється вниз, закручуючи нитка (вісь обертання маятника) і розтягуючи пружини 5, 8, 10. Індекс маятника при цьому йде в поле зору мікроскопа від свого нульового положення. Щоб повернути маятник в колишнє горизонтальне положення, необхідно підтягнути пружину 8 мікрометричним гвинтом 9, пов'язаним з лічильником оборотів. чим більша сила тяжіння діє на маятник, тим на більший кут він відхилиться, тим більше розтягнеться пружина 8 і тим більше число раз необхідно повернути рукоятку мікрометричного гвинта, щоб повернути маятник в горизонтальне положення. Встановивши індекс маятника в нульове положення, оператор

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бере відлік по відліковий пристрій, розташованому на верхній частині корпусу приладу.

При зменшенні сили тяжіння момент гравітаційної сили зменшується, і пружини підтягують важіль маятника вгору. Для приведення важеля в горизонтальне положення в цьому випадку доводиться обернути мікрометричний гвинт в іншу сторону, послаблюючи вимірювальну пружину.

Діапазонна пружина 10 служить для розширення діапазону вимірювання з гравіметри. За допомогою спеціального діапазонного ключа, що вставляється в отвір в мікрометричного гвинта 12, можна змінити натяг пружини 10.

Прилад має дві системи температурної компенсації: основну і додаткову. Основна система температурної компенсації являє собою лінійний температурний компенсатор. Він складається з мідної нитки 13, прикріпленою верхнім кінцем до каркасу приладу, а нижнім - до важеля 15.

Другий кінець важеля тонкої кварцової ниткою 16 з'єднується з рухомою рамкою 17 температурного компенсатора. При збільшенні температури вироби з металу мають тенденцію до розширення, пружність ж кварцу при підвищенні температури збільшується. Отже, при нагріванні приладу маятник прагне піднятися вгору, повертаючи кварцову нитку проти годинникової стрілки. У той же час металева нитка 13 при підвищенні температури подовжується, в зв'язку з чим правий кінець важеля 15 опускається, а лівий піднімається. Це рух важеля передається на рамку 17, яка, піднімаючись, повертає нитку за годинниковою стрілкою. Параметри металевої нитки і пружних частин гравіметра підібрані таким чином, щоб моменти сил, що виникають в системі під впливом температури, були рівні за величиною і протилежні за знаком. Повної температурної компенсації в приладі за допомогою описаного пристрою досягти не вдається, тому що зміна довжини металевої нитки під дією температури відбувається за

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лінійним законом, пружні ж властивості кварцу змінюються по складному закону.

Пристрій додаткової системи температурної компенсації - «компенсатор криволінійності» - складається з пружини 18, яка підтягує або послаблює нитку 16 і дає додаткове зміщення важеля маятника. Температурний коефіцієнт приладу для діапазону температур $\pm 15^\circ \text{C}$ від точки повної температурної компенсації не перевищує $\pm 0,6$ мгл / град.

Оптична система в гравіметрії призначена для візуального спостереження за становищем індексу маятника. Вона складається з освітлювача і мікроскопа (рис. 10).

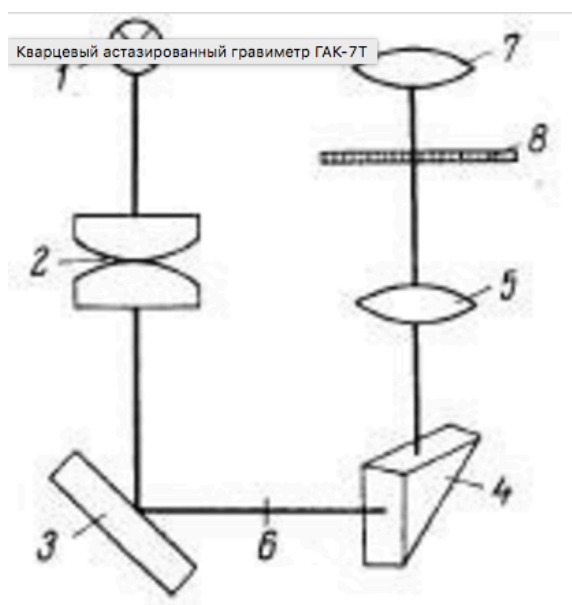


Рис.10 Оптична система

В освітлювач входять лампа для кишенькового ліхтаря (3,5 в), збірна система (конденсор) і дзеркало.

Мікроскоп складається з призми, об'єктива, окуляра і шкали окуляра, на якій нанесені поділки. Ціна одного ділення шкали дорівнює 0,1 мм.

Промінь світла в оптичній системі проходить наступний шлях. Від лампочки 1 світло збирається конденсором 2 і у вигляді паралельного пучка направляється до похилого дзеркала 3. Відбившись від дзеркала, промінь потрапляє в призму 4, де заломлюється, а потім, пройшовши об'єктив 5,

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

направляється в окуляр 7. На шляху між дзеркалом 3 і призмою 4 промінь світла зустрічає індекс 6 маятника і проектує його зображення на шкалу окуляра 8. у мікроскопі видно широку рухливу смугу, що має в середині (внаслідок інтерференції) одну (або кілька) світлу смугу. Ця смуга і є зображення індексу маятника. Зазвичай зображення маятника по одній зі світлих смуг поєднують із середнім поділом шкали, яке вважається нульовим.

Вимірювальний механізм гравіметра. Механізм управління пружною системою гравіметра складається з діапазонного і власне вимірювального пристроїв. Власне вимірювальний механізм служить для точного (кількісного) визначення ступеня натягу вимірювальної пружини шляхом взяття відліків по лічильнику обертів. Він дозволяє вимірювати силу тяжіння в межах 80-120 мгл. Діапазон пристрій дозволяє розширити діапазон вимірювань приблизно до 5000 мгл.

Діапазон і вимірювальне пристрої являють собою нерухомі мікрометричні гвинти з рухомими по ним гайками. Нижні кінці гвинтів з'єднані безпосередньо з вимірювальної і діапазонної пружинами. Мікрометричний вимірювальний гвинт з'єднаний з лічильником обертів, укріпленим на верхній панелі приладу. Діапазонний мікрометричний гвинт не має лічильника обертів. Він закінчується шлицом з вирізами, куди вставляється спеціальний діапазонний ключ. Повертаючи діапазонний ключ, можна послабити або підтягти діапазонну пружину. Положення пружини фіксується контргайкою.

Діапазонний і вимірювальний мікрометричні гвинти влаштовані однаково, мають різьблення з кроком 0,5 мм; повний хід гайок 10-12 мм.

Отже, при повороті мікрометричних гвинтів на один оборот діапазонна і вимірювальна пружини розтягуються на 0,5 мм. Жорсткість вимірювальної пружини підбирається такий, що розтягнення її на 0,5 мм відповідає зміні сили тяжіння на 3-7 мгл. Діапазонна пружина має в 50-80 разів більшу жорсткість, ніж вимірювальна.

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конструкція гравіметра (рис.11). Прилад ГНУ-КВ складається з середньої частини (власне гравіметра) і зовнішнього кожуха з теплоізоляцією. Зовнішній кожух являє собою сталевий циліндр з установочними гвинтами внизу. На дні і стінках кожуха прокладений шар теплоізоляції. В кожух вставляється посудину Дьюара, що представляє собою порожнистий циліндричний стакан з посрібленими подвійними стінками. Посудина оберігає систему від впливу різких змін зовнішньої температури [21].

Середня частина гравіметра складається з корпусу кварцової системи, тепло-захисного стовпа і верхньої панелі. Корпус, в якому змонтована пружна система, являє собою герметично закритий металевий стакан, з якого викачане повітря, що необхідно для виключення впливу атмосферного тиску на показання приладу. На верхній панелі гравіметра (рис. 16) розташовані рівні 2, відліковий пристрій 2, термометр 3, отвір для діапазонного ключа, яке закрито текстолітовими стрижнем 4, окуляр мікроскопа 5 і патрон для лампи 6.

Середня частина гравіметра вставлена в посудину Дьюара. Для більш щільного з'єднання посудин Дьюара з середньою частиною гравіметра на останню надітий шерстяний чохол.

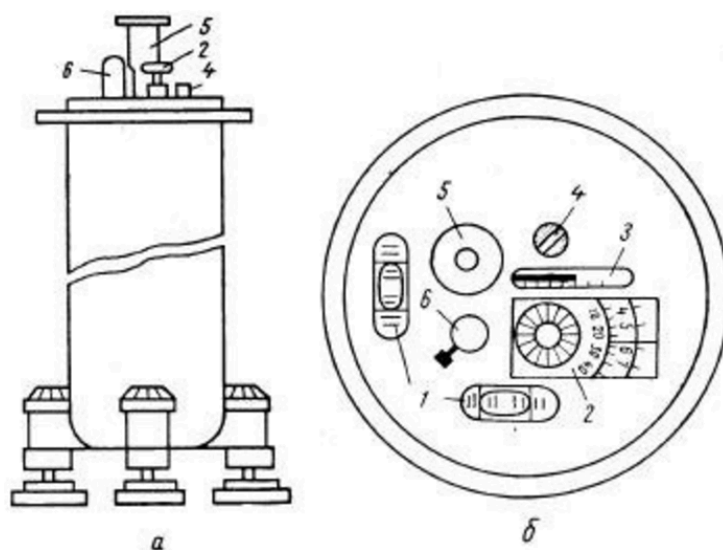


Рис.11 Конструкція гравіметра

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Основною частиною гравіметра є пружна система, заснована на принципі горизонтального маятника Голіцина. Як матеріал пружної системи обраний плавлений кварц (кварцове скло). Кварцове скло легко піддається обробці: з нього можна зробити стрижні і нитки будь-якої товщини, аж до декількох мікрон, навити пружини. Стрижні і нитки легко зварюються між собою і з деякими металами. Міцність кварцового скла така, що пружні системи малих розмірів, виготовлені з нього, можуть не закріплюватися при транспортуванні гравіметрів. Це дуже спрощує конструкцію системи.

Відносна величина подовження кварцової нитки становить при температурах + (15 - 20) ° С 10-6 на добу, відповідно зміна зсуву нуля-пункту буде 1 2 МГЛ /доб. Однак при підвищенні температури ця величина різко зростає. Зазвичай кварцові гравіметри робляться без термостата і забезпечуються тільки потужною теплозахистом. Кварцова пружна система гравіметра монтується в герметично закритому корпусі, вміщеному в посудину Дьюара, що забезпечує сталість тиску і гарний теплозахист. Компенсує пристрій забезпечує робочий інтервал температури в інтервалі від -5 ° до + 30 ° С. Велика точність відліку досягається застосуванням 600-кратного оптичного збільшення. На кварці можуть виникати електростатичні заряди. Для їх нейтралізації на внутрішній стінці захисного склянки завдано тонкий шар радіоактивного плутонію-239. Від проникнення шкідливої ​​радіації назовні він захищений стінками декількох корпусів і посудиною Дьюара.

Схема кінематична схема гравіметра вказана на рис.12. Основні елементи гравіметра зібрані на складальній рамці 1. Чутливий елемент приладу - горизонтальний маятник Голіцина. При зміні сили тяжіння (наприклад, при її збільшенні) маятник 19 буде відхилятися від початкового положення рівноваги до тих пір, поки сили, викликані деформацією головною пружини 8 і ниток підвісу 7 маятника, чи не урівноважать зміна сили тяжіння. Головна пружина 8 з'єднана з маятником

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

системи є таке, при якому вісь обертання системи і центр ваги маятника лежать в одній горизонтальній площині.

Це положення відповідає мінімальній чутливості системи до нахилів. Компенсація збільшення сили тяжіння здійснюється шляхом зміни крутильного моменту ниток підвісу 7 маятника, кут закручування яких залежить від повороту рамки 2. Остання повертається внаслідок зміни натягу пружин 5 і 9 за допомогою мікрометричних пристроїв, за допомогою яких можна змінювати довжину пружин.

Мірою подовження пружини 5 є кут повороту мікрометричного гвинта, який вимірюється спеціальним лічильником-редуктором, що дозволяє відраховувати кут повороту з точністю до 0,001 частки обороту. Діапазонна пружина 9 має лінійну жорсткість в 50-100 разів більшу, ніж вимірювальна пружина 5, і служить тільки для перебудови діапазону вимірювань.

При зміні температури змінюється пружність кварцу, внаслідок чого в свою чергу змінюється момент пружних сил головною пружини і ниток підвісу маятника, і маятник переміщається. Компенсація цього переміщення здійснюється шляхом додаткового закручування ниток підвісу 7 маятника в залежності від температури, яка викликає зміну довжини металевої нитки 14. Внаслідок цього важіль 21, врівноважений дією сили закручених ниток підвісу 20, повертається в ту або іншу сторону. Рух важеля 21 передається рамці 4 за допомогою тонкої кварцової нитки 3 і викликає поворот рамки 4.

Однак гравіметри мають один недолік, не притаманний маятникам, - сповзання нуля-пункту. Сповзання нуля-пункту проявляється в тому, що на одному і тому ж місці, т. Е. Коли сила тяжіння не змінюється, при незмінних умовах (температурі і тиску) індекс гравіметра весь час повільно зміщується і відлік, взятий сьогодні, не збігається з тим, який був узятий вчора. Таке зміщення нуля-пункту залежить від ряду обставин: від температури в момент відліку і в попереднє відліку час, від режиму, в якому знаходився прилад (спокій, тряска), і ряду інших чинників.

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Природа цього зміщення полягає в тому, що пружний елемент гравіметра (пружина, закручена нитка), що знаходиться в напруженому стані, не точно слідує закону пропорційних деформацій. Відбувається як би уставаніє пружного елемента внаслідок напруженості, і він поступово змінює деформацію при незмінному навантаженні. Ця зміна залежить від режиму, в якому знаходиться в даний момент і знаходився раніше пружний елемент. Для кварцових систем при низьких температурах зміщення нуля-пункту мало і навіть може дорівнювати нулю.

Цей зсув нуля-пункту коливається в різних системах і для різних матеріалів від десятих часток мгал до декількох мгал на добу. Це явище визначило методику роботи з гравіметрами. Вона полягає в тому, що поточна й заключне спостереження кожного рейсу повинні проводитися або на одному і тому ж пункті, або на пунктах зі строго відомими значеннями сили тяжіння. Виявити при цьому зміна відліку гравіметра відноситься за рахунок зміщення нуля-пункту, яке вважається лінійним. Тоді його розкидають пропорційно часу за всіма пунктами. Тривалість рейсу визначається тим часом, протягом якого можна вважати зміщення нуля-пункту лінійним. Зазвичай допускаються рейси тривалістю не більше декількох годин (4-8 ч), втім це залежить від необхідної точності результату. У всякому разі гравіметр - прилад, що дозволяє виконувати гравіметричні зв'язку тільки за короткий час. Звідси обмеженість його застосувань. Якщо гравіметри треба визначати пункти, розташовані далеко один від одного, то необхідно користуватися такими транспортними засобами, які дозволяють швидко покрити ці відстані. Так виникла необхідність використання в якості транспортних засобів літаків і вертольотів. Зараз значна частина гравіметрових зйомок виконується із застосуванням повітряного транспорту.

Для виключення сповзання нуля-пункту іноді використовують струнний гравіметр, є не статичним гравіметри, а динамічним.

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У цьому приладі мірою зміни сили тяжіння є зміна частоти коливань навантаженої струни. Прилади такого типу мають широку перспективу. Вони застосовні для роботи на кораблях і по ідеї не повинні мати зміщення нуль-пункту [22].

2. Теоретичні та експериментальні дослідження

Струнний гравіметр складається з корпусу, струни, вміщеної в поле збуджує магніту і пов'язаної допомогою вузлів кріплення з кінцевою пружиною підвісі і вантажем, який поміщений в поле демпфуючого магніту.

При пропущенні перемінного струму по струні робоча ділянка, розташована між вузлами кріплення і знаходиться в магнітному полі, коливається з певною частотою, що залежить від натягу струни.

При зміні температури всередині гравіметра, наприклад її підвищення, кінчна пружина стиснення, на якій підвішена струна з вантажем, збільшує свою довжину від лінійного розширення і водночас втрачає жорсткість, від чого додатково стискається. Таким чином, довжина пружини змінюється на величину, яка визначається різницею змін довжин від лінійного розширення і зміни жорсткості. Тим самим зменшується або усувається вплив зміни довжини від зміни температури на положення вантажу по вертикалі, що призводить до зменшення вигину пружин зв'язують вантаж з корпусом і до збереження більш стабільного натягу струни [23].

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1 Експериментальні дослідження об'єкту

2.1.1 Температурна стабілізація гравіметра

У будь-якому складному геофізичному приладі, зокрема гравіметрі, існує деякий неконтрольований зсув точки опори і закріплення пружини відносно корпусу, що виникає через вплив температури. Зміна температури навколишнього середовища або розігрів самої конструкції гравіметра під час його роботи є основними джерелами нестабільності. Нерівномірне розширення або стиснення деталей пристрою кріплення струни призводить до того, що струна з плином часу зміщується відносно нульового положення. Зміна температури твердого тіла призводить до виникнення термопружних деформацій. Внаслідок цього явища може зростати похибка у вимірюваних значеннях коливань. Для зменшення цього ефекту можливо термостабілізувати корпус гравіметра за допомогою спеціальної системи температурної стабілізації [24].

Останнім часом відбувається очевидне поживлення в області термоелектричного охолодження. Недавні дослідження зі створення та пошуку матеріалів для термоелектриків дають підставу в найближчому майбутньому очікувати істотного збільшення ефективності термоелектричних модулів. Термоелектричні перетворювачі енергії мають наступні переваги:

- можливість не тільки охолодження, але і нагріву;
- виняткова надійність компонентів;
- можливість дуже швидкого охолодження;
- висока точність регулювання температури і можливість терморегуляції шляхом зміни струму живлення;
- відсутність необхідності в технічному обслуговуванні:

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- можливість роботи в широкому діапазоні оточуючих температур, тисків, прискорень і вібрацій.

Системи температурної стабілізації з використанням термоелектричних модулів охолодження Пельтьє привертають увагу завдяки своїм невеликим габаритам і вазі, незначною потужністю споживання і можливості роботи в широкому діапазоні оточуючих температур, тисків, прискорень і вібрацій.

Основні переваги високоефективної схеми термостабілізації модуля Пельтьє:

- імпульсний режим керування струмом драйвера, мінімізує розміри, більш ефективний порівняно з лінійним режимом;
- однополярне живлення, що спрощує конструкцію;
- двонаправлений струм живлення термоелемента, що дозволяє як нагрівати так і охолоджувати об'єкт термостабілізації.

Найбільш придатним для проектування системи високоефективної термостабілізації напівпровідникового лазера виявився інтегрований контролер температури для модулів Пельтьє МАХ1978 фірми Maxim, який представляє собою мініатюрний, прецизійний, повний за схемотехнікою однокристальний контролер, який не потребує зовнішніх підсилювачів.

В технічній документації на контролер температури МАХ1978 зазначено, що він забезпечує здатність навантаження струмом до 3 А. Але експериментальні дослідження показали, що контролер МАХ1978 підтримує значення вихідного струму навантаження на термоелектричних модулях охолодження Пельтьє (ТЕМ) до 2 А при максимальній напрузі живлення 5 В. Звідси випливає, що максимальна потужність в термоелентах Пельтьє може сягати 8-10 Вт, що недостатньо при використанні контролера МАХ1978 в системах термостабілізації корпусів прецизійних електронних приладів.

Контролер МАХ1978 є закінченим та повним за схемотехнікою однокристальним контролером, який унеможливорює підключення зовнішніх підсилювачів.

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В зв'язку з цим виникає необхідність у розробці і створенні більш потужної ефективної системи термостабілізації з вихідною потужністю 50-100 Вт, яка забезпечує точність стабілізації температури $\ll 0,1$ °С [25].

2.1.2 Функціональна схема автоматичного регулювання температури корпусу гравіметра.

На рис. 15 представлена функціональна схема автоматичного регулювання температури корпусу геофізичного приладу – гравіметра. До контуру регулювання входять датчик (терморезистор), регулятор, виконавчий елемент-модуль Пельтьє, об'єкт регулювання.

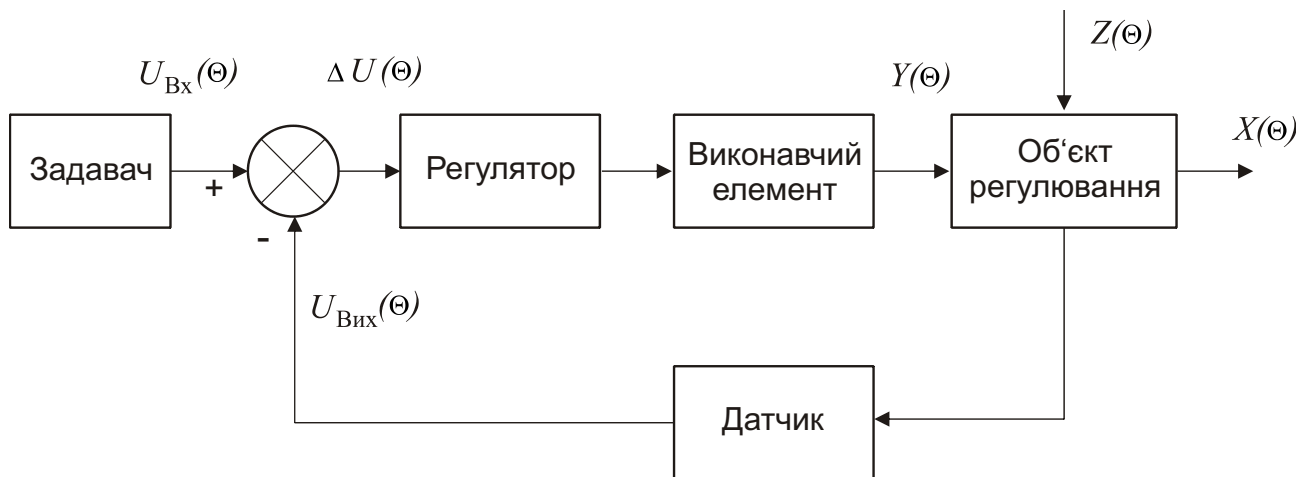


Рис. 13 Функціональна схема автоматичного регулювання температури корпусу гравіметра:

$U_{Bx}(\theta)$ – задане значення керуючого впливу;

$U_{Вих}(\theta)$ – сигнал з виходу датчика;

$\Delta U(\theta)$ – сигнал розузгодження;

$Y(\theta)$ – сигнал керуючого впливу;

$Z(\theta)$ – збурючий вплив;

$X(\theta)$ – регульований параметр.

Система автоматичного регулювання працює наступним чином: в задавачі формується сигнал $U_{Bx}(\theta)$, що відповідає незалежній

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відоб'єкта заданій величині температури, а під дією збурюючого впливу $Z(t)$ змінюється значення температури в корпусі гравіметра $X(t)$, що сприймається чутливим елементом - терморезистором, який формує пропорційний вихідний сигнал $U_{Вих}(\Theta)$. На виході елемента порівняння формується сигнал розузгодження $\Delta U(\Theta)$ між заданим $U_{Вх}(\Theta)$ та реальним значенням температури, яка подається на регулятор. Регулятор перетворює сигнал розузгодження $\Delta U(\Theta)$ на керуючий вплив і своїм вихідним сигналом змінює режим роботи виконавчого пристрою - елемента Пельтьє, який збільшує або зменшує подачу теплоносія до гравіметра, і таким чином компенсує дію збуджуючого впливу [26].

2.1.3 Структурна схема автоматичного регулювання температури гравіметра

На рис. 16 представлено наочне графічне зображення математичної моделі автоматичної системи регулювання температури корпусу гравіметра

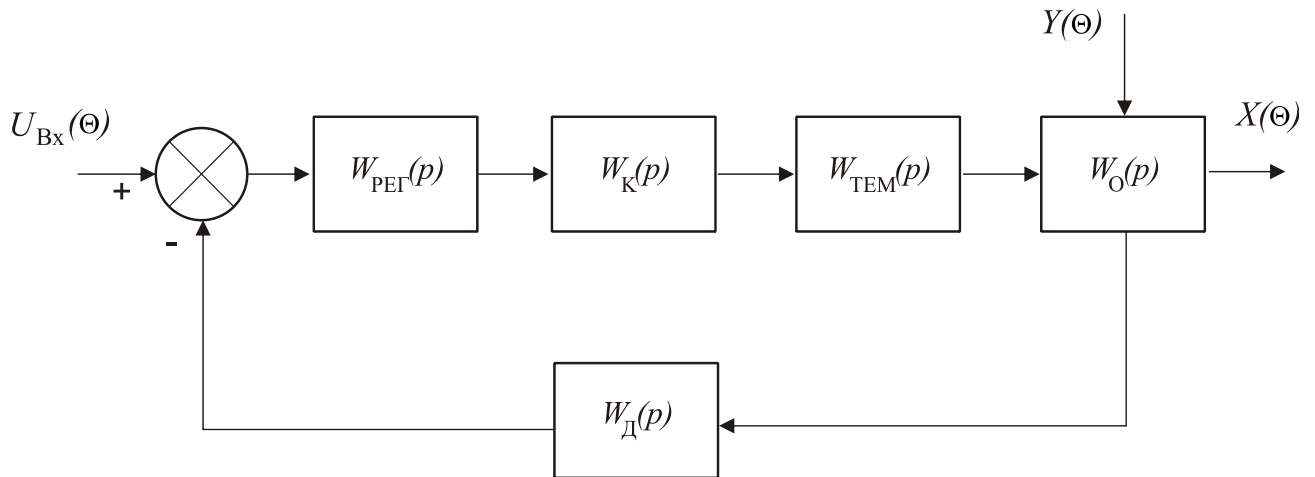


Рис. 14 – Структурна схема системи автоматичного регулювання температури корпусу гравіметра

Передатна функція розімкненої системи автоматичного регулювання записується у вигляді:

$$I(p) = W_{\text{РЕГ}}(p) \cdot W_{\text{К}}(p) \cdot W_{\text{ТЕМ}}(p) \cdot W_{\text{О}}(p) \cdot W_{\text{Д}}(p). \quad (2.1)$$

Передатна функція замкненої системи автоматичного регулювання знаходиться з виразу:

$$W_3(p) = \frac{W(p)}{1 + W(p)}. \quad (2.2)$$

Розглянемо окремо передатні функції усіх елементів системи.

Передатна функція пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора визначається рівнянням

$$W_{PIД}(p) = K \cdot \left(1 + \frac{1}{T_I p} + T_D p \right), \quad (2.3)$$

де T_I – постійна інтегрування; T_D – постійна диференціювання

Передатна функція Пельтьє виражається аперіодичною ланкою 2-го порядку:

$$W_{ТЕМ}(p) = \frac{1}{(1 + T_{T1}(p)) \cdot (1 + T_{T2}(p))}, \quad (2.4)$$

де $T_{T1}(p)$ і $T_{T2}(p)$ – постійні часу Пельтьє.

Передатна функція об'єкта регулювання – корпусу гравіметра виражається аперіодичною 1-го порядку:

$$W_O(p) = \frac{1}{(1 + T_{OP}(p))}. \quad (2.5)$$

де $T_{OP}(p)$ – постійна часу

Передатна функція датчика, яким слугує терморезистор, виражається аперіодичною 1-го порядку:

$$W_D(p) = \frac{1}{(1 + T_D(p))}. \quad (2.6)$$

де $T_D(p)$ – постійна часу терморезистора 2 сек.

Передатна функція підсилювача:

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_K(p)=K, \quad (2.7)$$

де K - коефіцієнт підсилення підсилювача, лежить в межах 1-2 [27].

2.1.4 Структурна схема системи термостабілізації корпусу гравіметра

На рисунку 17 представлена структурна схема системи температурної стабілізації корпусу геофізичного приладу – гравіметра.

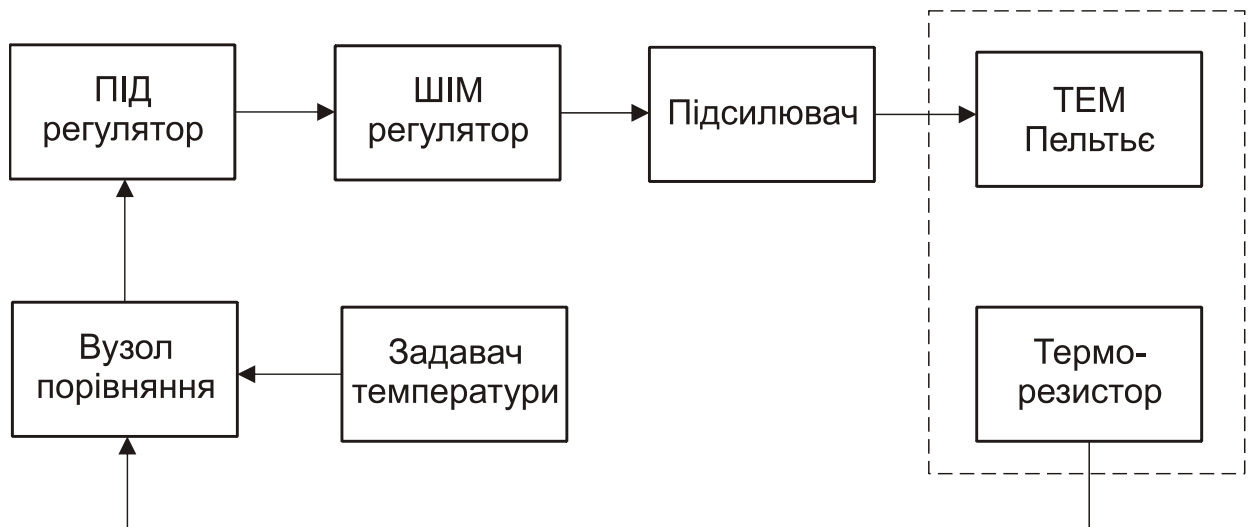


Рис. 15 – Структурна схема системи термостабілізації корпусу гравіметра.

До складу системи термостабілізації входять датчик (терморезистор), який розміщується в корпусі гравіметра, задавач температури, вузол порівняння, пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор, широтно-імпульсний регулятор, підсилювач, термоелектричний модуль Пельтье. В якості задавача температури використовується змінний резистор [28].

В якості ОП *DAI* використовується прецизійний чотирьохканальний операційний підсилювач МАХ4478, з низькими рівнем шуму і зміщенням напруги ± 70 мкВ [29].

2.1.6 Реалізація пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора

Регулятор виконує основні функції керування шляхом вироблення керуючого впливу в залежності від сигналу розузгодження.. Через функціональність і придатність для вирішення більшості практичних задач обрано пропорційно-інтегрально-диференціальний закон регулювання, який представляється рівнянням у вигляді:

$$U(t) = K_p \cdot e(t) + K_I \cdot \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt}, \quad (2.10)$$

де: $e(t)$ – сигнал розузгодження;

K_p – пропорційний коефіцієнт;

K_I – інтегральний коефіцієнт;

K_d – диференціальний коефіцієнт.

Найбільш часто використовувана структура пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора, яка показана на рис. 19.

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

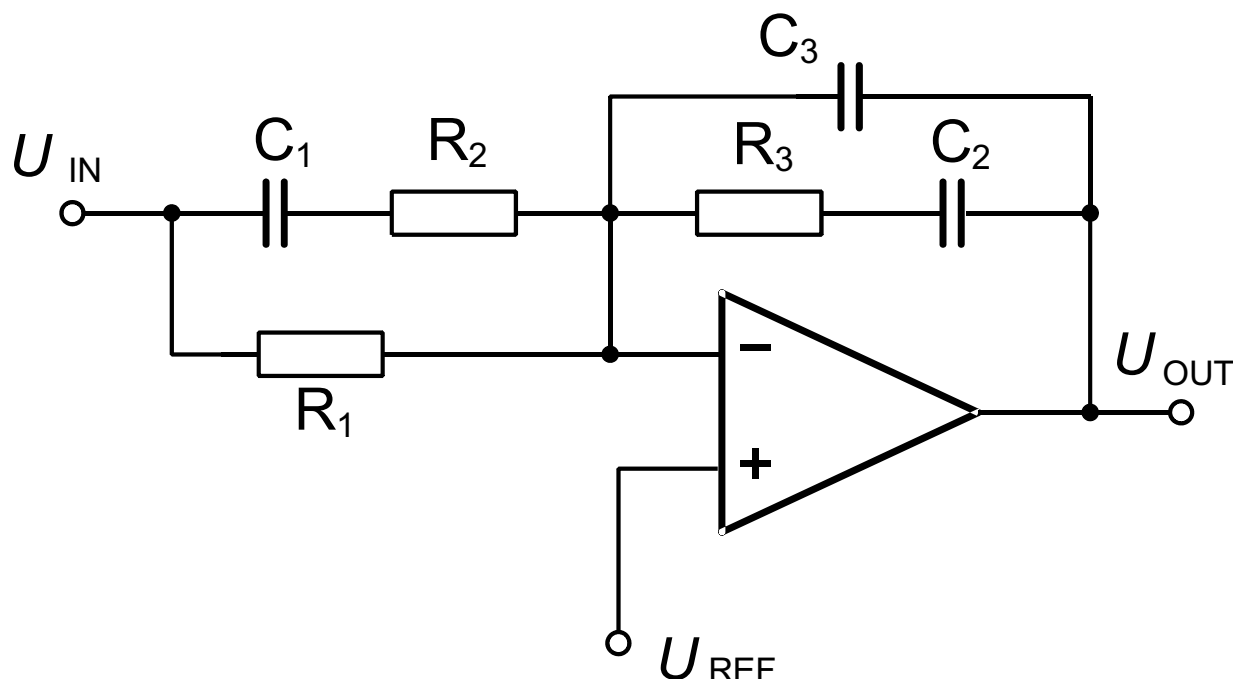


Рис. 17 – Пропорційний інтегрально-диференціальний регулятор

Передатна функція $W_P(p) = U_{out}/U_{in}$ записується у вигляді:

$$W_P(p) = -\frac{1}{pR_2 \cdot (C_2 + C_3)} \cdot \frac{(1 + pC_2 \cdot R_3) \cdot [1 + pC_1 \cdot (R_1 + R_2)]}{(1 + pC_1 \cdot R_1) \cdot \left[1 + pR_3 \cdot \left(\frac{C_2 \cdot C_3}{C_2 + C_3}\right)\right]} \quad (2.11)$$

Передатна функція (2.33) пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора має три полюси та два нулі і вони виражаються таким чином:

$$F_{P1} = 0, \quad (2.12)$$

$$F_{P2} = \frac{1}{2\pi \cdot R_1 \cdot C_1}, \quad (2.13)$$

$$F_{P3} = \frac{1}{2\pi \cdot R_3 \cdot \left(\frac{C_2 \cdot C_3}{C_2 + C_3}\right)} \approx \frac{1}{2\pi \cdot R_3 \cdot C_3}, \quad (2.14)$$

$$F_{Z1} = \frac{1}{2\pi \cdot R_3 \cdot C_2}, \quad (2.15)$$

$$F_{z2} = \frac{1}{2\pi \cdot C1 \cdot (R1 + R2)} \quad (2.16)$$

Щоб розраховувати компенсацію теплового контуру регулювання, тобто знайти значення елементів пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора, необхідно знати теплову характеристику термоелектричного модуля. Більшість модулів ТЕМ можливо моделювати як двухполюсні системи. Термоелектричний модуль має два полюси: $f1=0.02$ Гц і $f2=1$ Гц.

Спочатку вибираємо компоненти $R3$ і $C2$ для найвищого посилення по постійному струму. Плівкові конденсатори забезпечують низький витік струму, але можуть бути великими. Танталові і електролітичні конденсатори мають найвищий витік і в цілому не підходять для даного застосування. Керамічні конденсатори є хорошим компромісом між низьким струмом витіку і невеликими розмірами. Інтегруючий конденсатор $C2$ встановлює перший нуль F_{z1} . Вибираючи дуже низьку частоту в результаті маємо дуже велике значення конденсатора. Тому, встановлюємо частоту F_{z1} не більше ніж у 8 разів вище частоти найнижчого полюса термоелектричного регулятора. Тоді $F_{z1}=8 \cdot f1=0.16$ Гц. Вибираємо $C2=10$ мкФ, тоді

$$R3 = \frac{1}{2\pi \cdot F_{z1} \cdot C2} \approx 100 \text{ кОм} \quad (2.17)$$

Резистор $R1$ має невеликий опір і включений послідовно з конденсатором $C1$ для зниження рівня перешкод на виході регулятора і підвищення стійкості його роботи, тоді вираз для другого нуля буде:

$$F_{z2} = \frac{1}{2\pi \cdot C1 \cdot R2} \quad (2.18)$$

Тепер необхідно скомпенсувати другий полюс термоелектричного регулятора $f2=1$ Гц. Ми прирівнюємо частоту другого нуля F_{z2} до частоти другого полюса ТЕМ розділеної щонайменше на 5. Тоді $F_{z2}=0.2$ Гц. Вибираємо $R2=1$ М, тоді $C1 \approx 1$ мкФ.

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

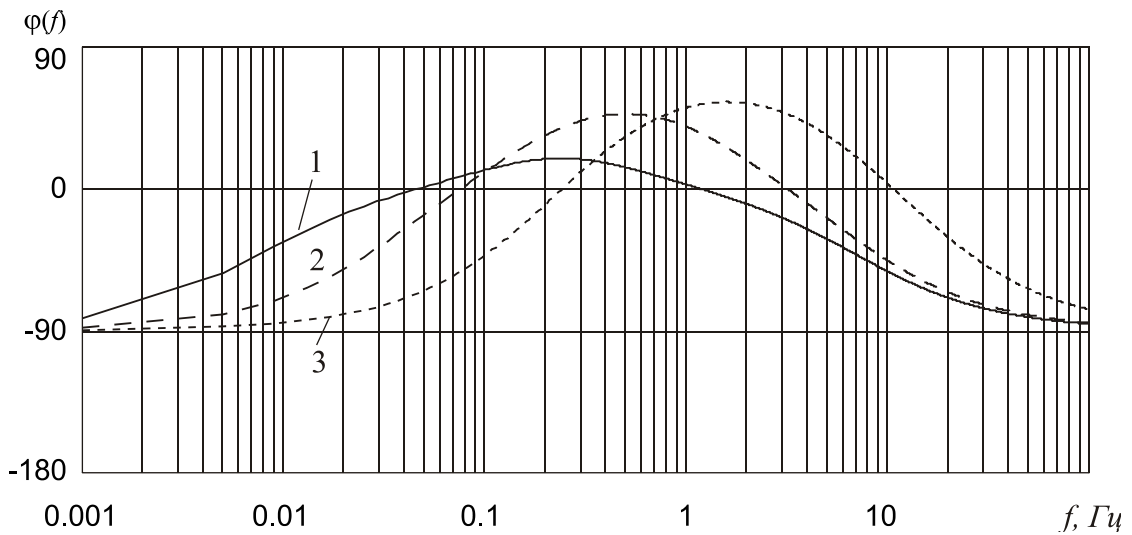


Рисунок 18– АЧХ і ФЧХ ПІД регулятора: 1 – $C1=6.8$ мкФ; 2 – $C1=2.3$ мкФ; 3 – $C1=1.0$ мкФ [30].

2.1.7 Оцінка якості управління системи автоматичного регулятора температури корпусу гравіметра

Якість перехідних процесів зазвичай оцінюють по перехідних функціях, що представляють графік зміни в часі регульованої величини системи при подачі на систему одиничного керуючого впливу. Показники якості управління, можна визначити безпосередньо по графіках перехідних функція.

У загальному випадку автоматичне регулювання температури характеризується затяжними перехідними процесами і великим амплітудним перерегулюванням внаслідок великої інерційності теплових об'єктів, і носить наступний характер, який зображено на рис. 2.7. Графіки перехідних процесів побудовані на основі передатної функції замкнутого контуру системи автоматичного регулювання із врахуванням передатної функції пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора (2.11) за допомогою функції оберненого перетворення Лапласа із програмного пакету *MathCad*. Результат оберненого перетворення Лапласа передатної функції для графіку - 1 представлено виразом:

									Арк.
									50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$\begin{aligned}
hm(t) := Hm(p) \text{ invlaplace, } p \rightarrow & 2.501 \times 10^{-4} \cdot e^{-5.653 \cdot t} - 2.059 \times 10^{-3} \cdot e^{-2.505 \cdot t} - 0 \cdot e^{-22.277 \cdot t} - \\
& 6.945 \times 10^{-7} \cdot e^{-22.277 \cdot t} - 0 \cdot e^{-2.5 \cdot t} + 0 \cdot e^{-5.655 \cdot t} + 0.105 e^{-0.053 \cdot t} + 0 \cdot e^{-0.5 \cdot t} - 0 \cdot e^{-0.126 \cdot t} - \\
& 0.042 e^{-0.526 \cdot t} + 0 \cdot e^{-0.033 \cdot t} - 1.061 \cdot \cos(0.113 \cdot t) \cdot e^{-0.038 \cdot t} - 0.539 \sin(0.113 \cdot t) \cdot e^{-0.038 \cdot t} + 1
\end{aligned}$$

Завдання синтезу системи автоматичної регуляції на основі пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора полягає у визначенні значень пропорційного, інтегрального і диференціального коефіцієнтів при яких забезпечується необхідна якість регулювання системи автоматичної регуляції. Основною проблемою при реалізації пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора є налаштування його параметрів.

При аналізі передатної функції замкнутого контуру системи автоматичної регуляції температури корпусу гравіметра були отримані графіки перехідних процесів (рис. 21), які відрізняються різними значеннями конденсатора $C1$.

Аналіз графіка-1 на рис. 2.7 показує, що максимальне перерегулювання σ_{max} не перевищує 35%. Час регулювання перехідного процесу, при допустимому відхиленні в 1% від сталого значення, склав >150 с. Аналіз графіка-2 показує, що система все ще стійка, але максимальне перерегулювання σ_{max} перевищує 50%, і час регулювання перехідного процесу, при допустимому відхиленні в 1% від сталого значення, склав >400 сек. Аналіз графіка-3 показує, що система нестійка і має частоту коливань 0,011 Гц.

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Недоліком лінійного підсилювача є наявність «мертвих зон» (рис. 23) та інших нелінійних проявів при малих струмах навантаження. Тобто, такий випадок можливий в режимі виходу роботи системи термостабілізації на задану температуру при цьому струм споживання модулем Пельтьє різко зменшується.

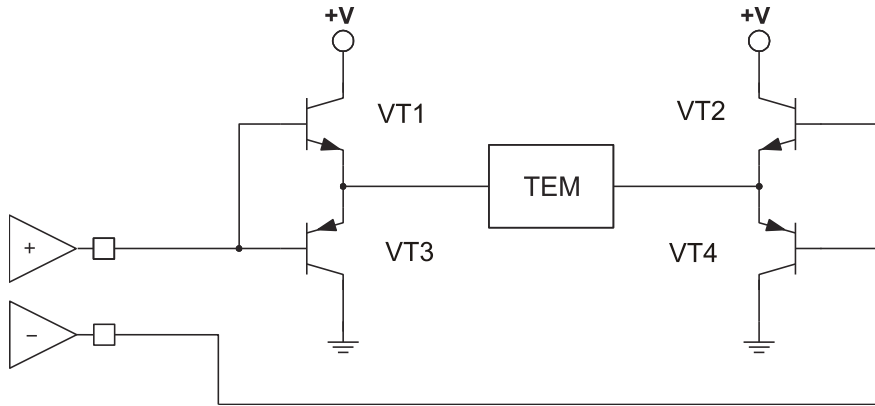


Рисунок 20 – Типовий вихідний каскад лінійного підсилювача

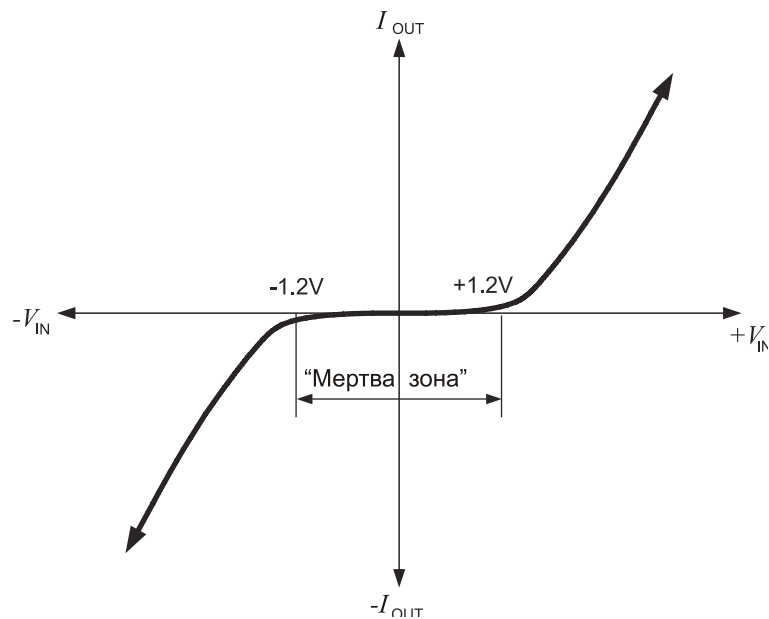


Рисунок 23 – Вихідна вольт-амперна характеристика

Аналіз і дослідження роботи підсилювачів для системи термостабілізації корпусу гравіметра показав, що ефективним у використанні є широко-імпульсний підсилювач, який дозволяє збільшити точність

"мертвого часу", тригер управління, прецизійний ІОН на 5В і схему управління вихідним каскадом. Підсилювач помилки видає синфазну напругу в діапазоні від 0,3 ... (V_{сс}-2) В. Компаратор регулювання "мертвого часу" має постійний зсув, який обмежує мінімальну тривалість мертвого часу величиною 4%..

Мікросхема TL494 представляє широко-імпульсний контролер, що працює на фіксованій частоті, і включає в себе всі необхідні для цього блоки (рис. 2.10). Вбудований генератор пилкоподібної напруги вимагає для установки частоти тільки двох зовнішніх компонентів R і C . Частота генератора визначається:

$$f = \frac{1}{R_T \cdot C_T} \cdot \quad (2.21)$$

Модуляція ширини вихідних імпульсів досягається порівнянням позитивної пилоподібної напруги, що одержується на конденсаторі C , з двома керуючими сигналами, які утворюються на виході підсилювачів похибки. Логічні елементи-АБО-НЕ відкривають вихідні транзистори $Q1$ і $Q2$ тільки тоді, коли вхідний (тактовий) і вихідний сигнали вбудованого тригера знаходяться в низькому логічному стані "0" . Це відбувається тільки протягом того часу, коли амплітуда пилкоподібної напруги вище амплітуди керуючих сигналів. Отже підвищення амплітуди керуючих сигналів викликає відповідне лінійне зменшення ширини вихідних імпульсів (рис. 25).

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

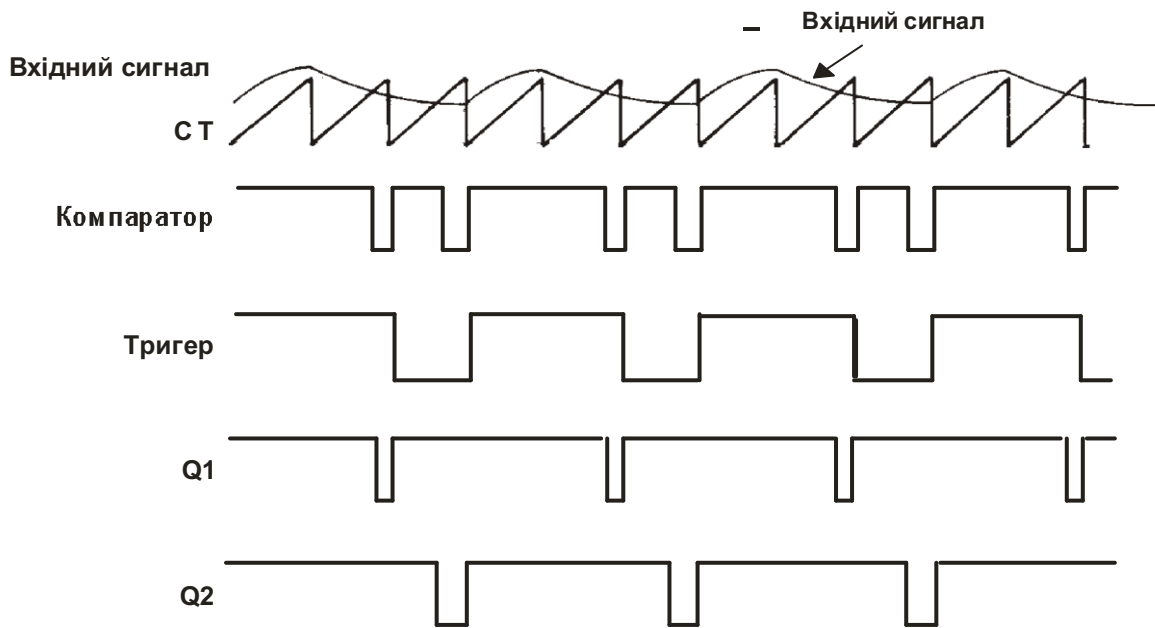


Рисунок 23 – Часові діаграми роботи ШІМ-контролера TL494

Вхід компаратора регулювання мертвого часу має зсув 120 мВ, що обмежує мінімальний "мертвий час" на виході перші 4% тривалості циклу пилообразної напруги. В результаті максимальна тривалість робочого циклу складає 96% в тому випадку, якщо вивід мікросхеми 13 заземлений, і 48% в тому випадку, якщо на вивід 13 подано опорну напругу.

Збільшити тривалість "мертвого часу" на виході, можна подаючи на вхід регулювання мертвого часу постійну напругу в діапазоні 0..3,3В.

Компаратор регулює ширину вихідних імпульсів від максимального значення, що визначається входом регулювання "мертвого часу", до нуля, коли напруга зворотного зв'язку змінюється від 0,5 до 3,5 В. Обидва підсилювача помилки мають вхідний діапазон синфазного сигналу від -0,3 до (Vcc-2,0) В. Виходи підсилювачів помилки мають активний високий рівень напруги і об'єднані функцією на неінвертуючому вході компаратора широтно-імпульсного модуля. У такій конфігурації підсилювач, що вимагає мінімального часу для включення виходу, є домінуючим в петлі управління. Під час розряду конденсатора *C* на виході компаратора регулювання

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мертвого часу генерується позитивний імпульс, який тактує тригер і блокує вихідні транзистори $Q1$ і $Q2$. Якщо на вхід вибору режиму роботи $I3$ подається опорна напруга, тригер безпосередньо управляє двома вихідними транзисторами в протифазі (двотактний режим), а вихідна частота дорівнює половині частоти генератора. Вихідний формувач може також працювати в однотоктному режимі, коли обидва транзистора відкриваються і закриваються одночасно, і коли потрібно максимальний робочий цикл, який не перевищує 50%.

Мікросхема TL494 має вбудоване джерело опорної напруги на 5,0В, яке здатне забезпечити витікаючий струм до 10мА. Опорна напруга має похибку 1% в діапазоні робочих температур від 0 до +70 С

Наявність в мікросхема TL494 такого запобіжного заходу, як обмеження мінімальної тривалості "мертвого часу" до 4% тривалості циклу (рис. 26а), необхідно для недопущення наскрізного струму в наступних силових каскадах. Але в нашому випадку підсилювач потужності з ШІМ повинен забезпечувати тривалість робочого циклу 100% для зменшення тривалості настроювання системи температурної стабілізації на задану температуру (рис. 26б).

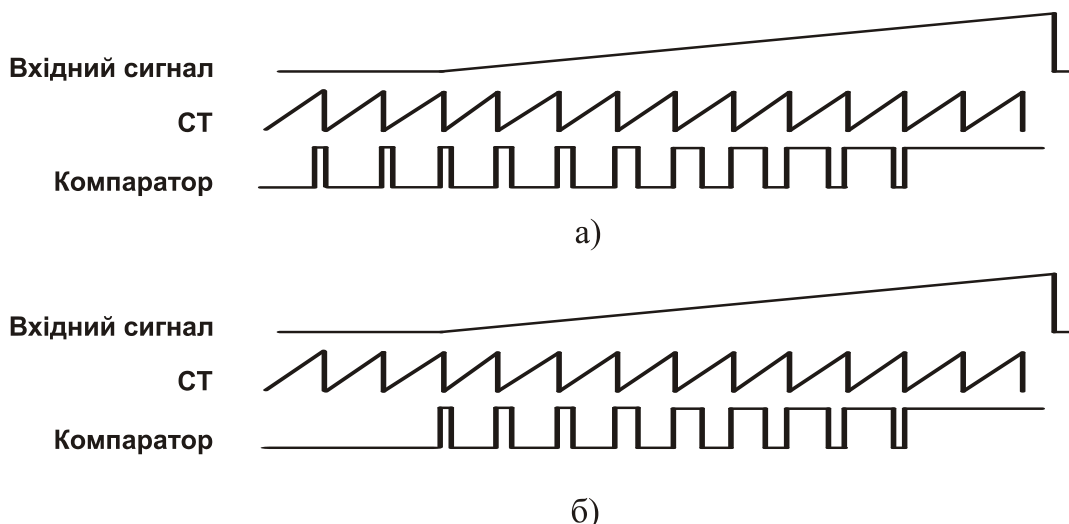


Рис. 24 – Регулювання "мертвого часу" широтно-імпульсного модуля

теплової характеристики елемента Пельтьє, конструктивні елементи радіатора та їх закріплення, площинність прилягання елемента Пельтьє до корпусів гравіметра і радіатора.

Остаточні значення коефіцієнтів визначаються після виконання експериментальних методів настроювання.

Температура на об'єкті регулювання, яким є корпус геофізичного приладу – гравіметр, підтримується за допомогою пропорційно- інтегрально- диференціального алгоритму підтримки зворотного зв'язку. Пропорційна складова K_p виробляє вихідний сигнал, який протидіє відхиленню регульованої величини від заданого значення, що спостерігається в даний момент часу. Він тим більше, чим більше це відхилення. Якщо вхідний сигнал дорівнює встановленому, то вихідний дорівнює нулю.

Однак при використанні тільки пропорційного регулятора значення регульованої величини ніколи не стабілізується на заданому значенні. Існує так звана статична помилка, яка дорівнює відхиленню регульованої величини, що забезпечує вихідний сигнал, який стабілізує вихідну величину саме на цьому значенні. Чим більше пропорційний коефіцієнт між вхідним і вихідним сигналом (коефіцієнт посилення), тим менше статична помилка, проте при занадто великому коефіцієнті посилення можуть початися автоколивання, а при подальшому збільшенні коефіцієнта система може втратити стійкість.

Інтегральна складова використовується для усунення статичної помилки. Вона дозволяє регулятору «вчитися» на попередньому досвіді. Якщо система не відчуває зовнішніх збурень, то через деякий час регульована величина стабілізується на заданому значенні, сигнал пропорційної складової буде дорівнювати нулю, а вихідний сигнал буде повністю забезпечувати інтегральна складова:.

Диференціальна складова протидіє передбачуваним відхиленням регульованої величини, які можуть статися в майбутньому. Ці відхилення можуть бути викликані зовнішніми збуреннями або запізненням впливу

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

регулятора на систему. Чим швидше регульована величина відхиляється від встановленої, тим сильніше протидія, створювана диференціальною складовою.

Головна складність в регулюванні системи температурної стабілізації полягає в знаходженні необхідних коефіцієнтів. Тому, як правило, через нелінійність і нестационарність системи розрахунки коефіцієнтів мають наближені значення.

Аналіз експериментальних досліджень показав особливості роботи створеної системи температурної стабілізації. З'ясовано, що для надійної роботи системи температурної стабілізації розрахункові значення регулятора в його диференційній складовій необхідно збільшити $\geq 4 K_d$ для усунення затухаючих коливань.

На основі розробленої конструкції регулятора температури проведені дослідження стабільності вимірюваної температури. На рис. 2.32а представлено осцилограму сигналу з виходу ПД регулятора. Як видно з осцилограми, встановлення на задані точність і температуру 25 °С, при оточуючій температурі 20 °С, приблизно 4 хв. На рис. 31б представлено осцилограми сигналів з виходу вузла порівняння (верхній сигнал) та широко-імпульсного регулятора (нижній сигнал) зі збільшеною чутливістю вертикального каналу відхилення осцилографа. Система регулятора температури є надчутливою. Посередині осцилограми (рис. 32б) видно сплеск (зрив) повільних коливань усталеного сигналу, які викликані рухом повітряної маси. При цьому температура об'єкта регулювання не змінюється.

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продукту вийти на ринок і конкурувати з продуктами, які вже зайняли на ньому своє місце.

У таблиці 5.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 3.1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Гравіметр підвищеної точності	Лабораторії дослідження корисних копалин земної кори	1. Покращення якості продукту 2. Збільшення попиту на продукт
	Лабораторії дослідження аномалій земної кори для будівництва будинків	1. Підвищення довговічності і надійності виробів 2. Оптимізація робочих центрів
	Сільське господарство	1. Підвищення довговічності і надійності виробів 2. Оптимізація робочих центрів

Отже, пропонується гравіметр підвищеної точності, який дозволяє зменшити вплив сторонніх факторів на показання при проведенні досліджень та пришвидшує процедуру вимірів.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

– визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;

– визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

– проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (І, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 5.2).

Таблиця 3.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				I (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент "ГНУ-КВ"	Конкурент "ГНУ-КВК"	Конкурент "ГАК-7Т"			
1.	Торгівельна марка	немає	є	є	є	+		
2.	Вартість програмного забезпечення	низька	середня	висока	низька			+
3.	Економічність	середня	висока	низька	середня		+	
4.	Показник оптимізації	виский	низька	середня	середня			+

Після порівняння характеристик проекту з конкурентами був визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик і властивостей ідеї потенційного товару, що є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності

3.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології (мови програмування), за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 5.3.

За попереднім оцінюванням ринок має зростаючу динаміку і хороший попит на запропонований нами продукт, тому робим висновок, що ринок є привабливим для входження, хоча на ньому вже існують і іноземні фірми, які працюють багато років і роблять продукцію хорошої якості, але за рахунок нової технології і переваг, які вона надає продукт є конкурентоспроможними.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 3.3). Таблиця 3.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Точність вимірювань	Лабораторії дослідження корисних копалин землі	Підприємства з великим асортиментом можливостей виготовлення будь-яких виробів	Покращення якості продукту та підвищення довговічності

Отже потенційною групою клієнтів продукту мають стати лабораторії дослідження корисних копалин та аномалій земної кори, які побачать економічну вигоду у даному виробі.

При застосуванні даної технології існують певні загрози. Для попередження таких ситуацій необхідно якісне обладнання, а також працювати з такими програмами повинні висококваліфіковані фахівці. Також, повинно своєчасне технічне обслуговування даного продукту (таблиця 3.4).

Таблиця 3.5. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Широкий асортимент продукції конкурентів	Доведення на практиці, що технологія буде економічно вигіднішою, ніж у конкурентів
2.	Старіння	Поява модернізованої продукції	Моніторинг трендів, постійна модернізація згідно з вимогами ринку
3.	Відсутність попиту на продукцію	Не бажання споживачів переходити на нову технологію	Реклама. Приведення аргументованих доказів, що зміна технології приведе до збільшення попиту на продукт.
4.	Обслуговування	Ймовірність збоїв приладу	Своєчасне технічне обслуговування
5.	Технічний	Мало спеціалістів в даній області	Впровадження постійної підтримки кваліфікованих техніків

В таблиці 3.5 ми визначили фактори загроз які перешкоджають ринковому впровадженню нашого проекту, а також можливу реакцію на фактор щоб звести до мінімуму його вплив.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 5.7).

Таблиця 3.6. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Науково-технічні	Зміниться технологія виготовлення товару	Впровадить технологію і змінить вартість товару
2.	Можливість створення сайту з реалізації товару	Можливість придбати продук на віддаленій відстані	Зробити акцент на якості продукції
3.	Попит	Потреба вчасного вдосконалення продукту	Модернізація продукту, розробка нових ідей
4.	Політико правові	Може вплинути на купівлю/продаж товару.	Зміна напрямків імпорту

										Арк.
										66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ					

5.	Економічні	Підтримка інноваційного виробництва.	Підвищення/пониження ціни на продукт
----	------------	--------------------------------------	--------------------------------------

В таблиці 3.6 ми визначили фактори можливостей, які сприяють ринкове впровадження нашого продукт та вигоду, яку компанія може отримати відповідно від реакції на той чи інший фактор.

Проведемо ступеневий аналіз конкуренції на ринку (таблиця 3.7)

Таблиця 3.7. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Монополія	В галузі домінує одна фірм	Виготовлення вдосконаленого товару
2. Національний	Конкуренція фірм на міжнародному рівні	Реклама продукції. Створення сайту на різних мовах
3. Міжгалузєва	Виробники виготовляють продукти, які задовольняють різні потреби	Виготовлення товару відмінного в якості, ціні.
4. Товарно-видова	Різноманітні товари для задоволення конкретної потреби	Розробка нових технологій
5. Цінова	Використання ціни як засіб кращих умов збуту	Підвищення якості продукту, за такою ж ціною, що і у конкурентів
6. Марочна	Вказує, яке підприємство відповідальне за готовий продукт	Створення власної марки

В даній таблиці ми проаналізували ринок збуту нашого продукту і визначили загальні риси конкуренції на ньому.

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

Таблиця 3.8 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	ГНУ-КВ, ГАК-7Т	Великий асортимент товарів у конкурентів	Значення розміру поставок	Розмір закупівель, торговельні знаки	Ціна, марки конкурентів
Висновки:	Інтенсивність конкуренції прийнятна. Більшість фірм отримують цілком помірний прибуток	Присутні можливості входу в ринок за рахунок нової технології та інвестицій	Не диктують	Диктують. Вимоги до ціни і якості продукту	Велика кількість товарів-замінників

Отже, відповідно до наведеного вище аналізу головними силами, які діють на конкуренцію в галузі є постачальники і споживачі. Також все більшого значення набуває інтенсивність конкуренції між існуючими конкурентами.

Таким чином в межах структурного підходу до аналізу конкуренції тип конкуренції – монополістична конкуренція. Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Поки проект не впроваджено в життя, це важко зробити точно, можна дати лише попередню оцінку конкурентоспроможності.

Таблиця 3.9 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Надійність	Більша надійність продукту, ніж у конкурентів
2	Якість	Вище перелічені фактори покращують якість продукту, а це один із головних критеріїв у клієнтів
3	Ціновий	Опрацювання відгуків клієнтів, вдосконалення відповідно до їх пропозицій та за можливості зниження ціна на продукт
4	Новизна	Нова технологія дозволяє продукту стати конкурентоспроможними

Таблиця 3.10 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Надійність	17						+	
2	Якість	16					+		
3	Ціновий	17				+			
4	Новизна	19					+		

З таблиць 3.9 та 3.10 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при впровадженні нового програмного забезпечення для розрахунку концентрації пилю. Основною перевагою та головним досягненням є висока якість продукту та технічна підтримка на протязі всього терміну його використання споживачем.

Таблиця 3.11. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
<p>1. Більшій оптимізована програма, ніж у конкурентів;</p> <p>5.2. Краща продуктивність;</p> <p>6.3. Краща якість продукту;</p> <p>7.4. Ціна така ж як і у конкурентів.</p>	<p>1. Продукт який ще не зарекомендував себе на ринку;</p> <p>2. Так як на ринку багато постачальників, у клієнтів багатий вибір продукту, компанії необхідно проводити рекламу свого продукту і збільшувати кількість його постачальників.</p> <p>3. За рахунок високої ціни на обслуговування, тому клієнти обирають інший продукт, що призводить до втрати потенційного заробітку.</p>

3.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

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

Таблиця 3.13. 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	Лабораторіях дослідження корисних копалин земної кори	Готові	Високий	Середня	Середня
2	Лабораторії дослідження аномалій земної кори для будівництва будинків	Готові	Високий	Високий	Середня
3	Сільське господарство	Готові	Середній	Середній	Проста

Які цільові групи обрано:

Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати із промисловими компаніями.

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, для яких будемо пропонувати свою програму для оптимізації робочих центрів та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію диференційованого маркетингу, тому що працюємо із конкретним сегментом, розробляючи для нього програму ринкового впливу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку.

Таблиця 3.14 Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок ринкових можливостей	Передбачає надання товару важливого з точки зору споживача властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів	Налаштоване виробництво, виготовлення виробу в термін. Якісний продукт, до якого прихильні споживачі.	Стратегія диференціації

За базову стратегію розвитку було взято стратегію диференціації, що передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять товар відмінним від конкурентів.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 3.15).

Таблиця 3.15. 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»	Компаніє буде забирати існуючих клієнтів у конкурентів	Не буду копіювати основні характеристики у конкурентів	Стратегія зайняття конкурентної ніші

За базову стратегію конкурентної поведінки була прийнята стратегія зайняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру. Головне завдання компанії при цьому – це постійна турбота про підтримку і розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.

За рахунок ключових переваг товару і стратегії диференціації, що передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей за такою ж ціною як і у конкурентів буде розроблено маркетингову програму стартап-проекту.

Таблиця 3.18. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Можна виділити наступні вигоди використання гравіметра підвищеної точності: 1. Точність вимірювання 2. Менший вплив сторонніх факторів 3. Надійність 4. Якість 5. Конкурента ціна		
I. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Довговічність.	1. Нм	1.Тл
	2. Якість	2. Нм	2.Тх
	3. Надійність	3. Нм	3.Тл
	4. Економічна	4. М	4.Тл
	5. Призначення	5. Нм	5.Тх
	Якість: відповідає нормам ДСТУ 13017-83		
	Пакування: Картонна коробка із торгівельною маркою, назвою продукту і технічними характеристиками		
	Марка: назва організації-виробника		
II. Товар із підкріпленням	Запуск рекламної компанії		
	Акція, яка передбачає знижку при покупці декількох товарів		

В таблиці 3.18 ми створюємо трьох - рівневу модель нашого товару, що включає задум товару та його вигоди, основні характеристики готового товару, спосіб його пакування та маркетингу.

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. 3.19).

Таблиця 3.19. 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	70 000	50 000	Середній	50 000 до 80 000

В таблиці проаналізовано ринкові ціни на товари аналоги та замінники, а також середній рівень доходів споживачів. За отриманими даними буде встановлена верхня та нижня межа на нашу програму.

Таблиця 3.20. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Звичайна покупка товару за готівку або перерахування на розрахунковий рахунок з ПДВ	Вид доставки EXW. Налаштування сервісною службою.	Канал нульового рівня	Власна система збуту. Виробник безпосередньо продає товар клієнту і використовує три способи прямого продажу : - Торгівля через магазини - Посилкова торгівля - Торгівля в роздріб

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів було обрано власну систему збуту, коли виробник безпосередньо продає товар клієнту через торгівлю в магазинах, посилками чи в роздріб. Також заглибину каналу збуту було обрано канал нульового рівня, тому що компанія хоче мати тісні контакти із споживачами на обмеженому цільовому каналі.

									Арк.
									75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ				

Таблиця 3.21. 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
1	Перегляд інформаційних ресурсів із потрібним якісним товаром за доступною ціною.	Інтернет ресурси, виставки, рекламні статті.	Послідовність у реалізації обраної позиції. Доступність та об'єктивність інформації про фірму та товар.	Інформаційне завдання про новий товар, та формування знань про марку та виробника.	Висока якість і швидке виготовлення виробів.

Висока якість і швидке виготовлення виробів є головною концепцією товару, за рахунок яких він є конкурентоспроможним на ринку.

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів було обрано власну систему збуту, коли виробник безпосередньо продає товар клієнту. Ціноутворення відбувається на основі аналізу товарів – аналогів і відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту з залученням експертів. За ринкову поведінку буде прийнята стратегія зайняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру. Головне завдання компанії при цьому – це постійна турбота про підтримку і розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.

3.6 Висновки

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити висновок що, ринкова комерціалізація проекту опирається на наявний попит, динаміку ринку та рентабельність роботи на ринку. Клієнти на даному ринку зазвичай займаються звичною купівлею з деякими змінами, яка передбачає придбання дещо змінених товарів, або зміну ціни на товар. Саме на це і розрахований даний стартап, так як у розробленому приладі відбудеться покращення вимірів при різних температурних діапазонах та більш точні показання.

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів і розробивши власну систему збуту є хороші перспективи впровадження даного продукту на ринок. Бар'єром входження на ринок є велика кількість товарів-аналогів, але порівняно із ними прилад кращий по всім параметрам. Виготовлення виробів в заданий термін і швидкий сервіс це те, за рахунок чого він може стати конкурентоспроможним на ринку.

Впровадження на ринок розроблена на основі стратегії заняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру.

Подальша імплементація продукту є доцільною за рахунок сильних сторін продукту і наявного попиту на ринку.

Наш проект можна реалізувати тому, що всі необхідні технології реалізації даних ідей наявні. Але немає можливості їх реалізувати через те, що необхідна велика сума коштів. Тому необхідно залучати інвесторів для реалізації даного проекту.

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок

В магістерській дисертації “Гравіметр підвищеної точності” виконано огляд та аналіз методів вимірювання сили тяженні, струнних, гіроскопічних, кварцових гравіметрів. Досліджено математичну модель, вихідний сигнал, функціональну та структурну схему приладу. Розроблено температурну стабілізацію гравіметра, а саме схему автоматичного регулювання. Виконано розробку стартап проекту для подальшого розвитку магістерської дисертації.

Результат магістерської дисертації - це підвищення стабільності і точності вимірювань гравіметра, а саме менший натяг його струни. В наслідок чого, струна з вантажем підвішена на циліндричній пружині має менший розтяг, який при зміні температури всередині гравіметра, пов'язаний з коливаннями температури зовнішнього середовища, змінює, як свою довжину від лінійного розширення, так і жорсткість. Таким чином, при підвищенні температури довжина та жорсткість чутливого елемента залишається майже незмінною, при цьому вантаж, пов'язані зі струною, підвішеною на пружині, завжди в стабільному положенні і не згинає пружини, що з'єднують його з корпусом, передаючи на них частину своєї ваги, що приводить до зменшення натягу струни.

Температурна стабілізація гравіметра дозволила зменшити величину зміни натягу струни при зміні температури всередині гравіметра за рахунок автоматичного регулювання температури корпусу гравіметра в основі якого ефект Пелетьє. Зміна частоти коливань струни визначає нестабільність показань приладу.

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список літератури

1. Огородова Л. В., Шимбирев Б. П., Юзефович А. П. Гравиметрия. Москва, "Недра", 1978, 325 с.
2. Грушинский Н. П. Основы гравиметрии.—Москва. "Наука", 1983.—352 с.
3. Федынский В. В. О разработке аппаратуры для гравиметрических измерений в движении // Известия АН СССР. Сер. геофиз. 1959. № 1. С. 146—152.
4. Федынский В. В. К вопросу о классификации гравиметрических работ и новая техническая инструкция по гравиметрической разведке //
5. Геофизическая разведка. 1962. Вып. 8. С. 51-56.
6. Гайнанов А. Г., Красный Л. И. Строев П. А., Федынский В. В. и др. Объяснительная записка к гравиметрической карте Тихого океана и Тихоокеанского подвижного пояса. — Л.: ВСЕГЕИ, 1979. — 60 с.
7. Миронов В. С. Курс гравиразведки. — Л.: Недра, 1972. — 512 с.
8. Веселов К. Е. Гравиметрическая разведка. Москва: Недра, 1968. 512 с.
9. Попов Е. И. Определение силы тяжести на подвижном основании. Москва: Наука, 1987. 218 с.
10. Пантелеев, В. Л. Измерение силы тяжести на подвижном основании. Учебное пособие по курсу — Теория измерения силы тяжести (дополнительные главы) [Текст] / В. Л. Пантелеев, А. А. Булычев. — М., 2003. 80 с .
11. Грушинский, Н. П. Основы гравиметрии [Текст] / Е. И. Попов. — М. : Наука Главная редакция физико-математической литературы, 1983. — 352 с.
12. Мудрецова, Е. Н. Гравиразведка [Текст]: справочник геофизика / Е. Н. Мудрецова— М. : Недра, 1990. — 456 с.
13. Веселов, К. Е. Гравиметрическая разведка [Текст] / К. Е. Веселов. — М.:

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Недра, 1968.– 512 с.

14. Миронов, В. С. Курс гравиразведки [Текст] / В. С. Миронов. – М.: Недра, 1980.– 543 с.
15. Наука, 1961.– 112 с. 19. Граф, А. Гравиметрия. Принципы измерения, конструкция, техника измерения [Текст] / А. Граф; Пер. П.Ф. Шокина. М. : Издательство геодезической литературы, 1961. 111 с.
16. Новицкий, П.В. Цифровые приборы с частотными датчиками [Текст]: підручник / П.В. Новицкий, В.Г. Кнорринг, В.С. Гутников.– Л.: Энергия, 1970. – 424 с.
17. Преображенский, А.А Электромагнитные устройства информационно-измерительной техники [Текст] / А.А. Преображенский, Б.В. Шамрай. – М.: Высш. школа, 1982. – 264 с.
18. Сливинская, А. Г. Электромагниты и постоянные магниты [Текст] / А.Г. Сливинская. ⌘ М. : Энергия, 1972. - 248 с..
19. Кухарчук, В. В. Основи метрології та електричних вимірювань [Текст]: підручник / В. В. Кухарчук, Є. Т. Володарський, В. Ю. Кучерук, В. В. Грабко.– Вінниця: ВНТУ, 2012. – 522 с.
20. Безвесільна, О. М. Аналіз похибок струнного гравіметра [Текст] / О.М. Безвесільна, Л.О. Чепюк // 7 МНТК " Інформаційно-комп'ютерні технології 2014" : тези допов. – Житомир, 2014. – С. 74-75.
21. Балашова. ⌘ М.: Машиностроение, 1969. - 216 с. 121. Кондрашкова, Г.А. Струнные электроизмерительные преобразователи [Текст] / Г.А. Кондрашкова. Ученые записки аспирантов и соискателей ⌘ Л: ЛПИ им. Калинина, 1963.
22. Туричин, А.М. Электрические измерения неэлектрических величин [Текст] / А.М. Туричин , П.В. Новицкий ⌘ Л: Энергия, 1975 – 576.
23. Тиль, Р. Электрические измерения неэлектрических величин [Текст] / Р.

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

Тиль Пер. с нем. – М.: Энергоатомиздат, 1987.– 192 с.

24. Болотин, Ю. В. Анализ точности решения задачи авиагравиметрии при идентификации параметров гравиметра в полете [Текст] / Ю. В.
25. Болотин, Ю. В. Локальное многомасштабное оценивание силы тяжести по данным аэрогравиметрии [Текст] / Н.В. Дробышев, В.Н. Конешов, В.В. Клевцов, В.Н.Соловьев, Е.Ю. Лаврентьева // *Фундамент. и прикл. матем.*– 2005. Т.11, выпуск 7. – С. 167–180.
26. Terry M.Tritt. Thermoelectric Materials, Phenomena, and Applications: A Bird’s Eye View /Terry M.Tritt, M.A. Subramanian// *MRS bulletin.* — Volume 31, March 2006.
27. Thermoelectric Materials – New Directions and Approaches // *MRS, Pittsburgh, 1998. V.478.* – 348 p.
28. Integrated Temperature Controllers for Peltier Modules MAX1978. Technical description // Maxim Integrated Products. — 2010. Rev 3; 3/10.
29. Виноградов В. Б., Болотнова Л. А. Гравиметры. — Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. — 67 с. — 200 экз.
30. Эткин, Л.Г. Виброчастотные датчики. Теория и практика [Текст] / Л.Г. Эткин. *Известия вузов, раздел «Приборостроение»* № М Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 408 с.
31. Пущина, Л. З. Измерения с гравиметром на самолете в США [Текст] / Л. З. Пущина// *Геодезия и аэрофотосъемка.* – М., 1962. – No 1. – С. 123–130.
32. Огородова, Л. В. Гравиметрия [Текст] / Л. В. Огородова. – М. : Недра, 1978. – 325с.
33. Совершенствование геофизических приборов на основе цифровой лазерной интерферометрии /Брицкий А.И.//*Регистрация, хранение и обработка данных.*–2012. – Т.15, №2. – С. 65-72.

					МД.ПМ71МП.3111.00.ПЗ	Арк.
						81
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		