

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет радіоелектроніки, комп'ютерних систем та інфокомунікацій

Кафедра радіоелектронних та біомедичних комп'ютеризованих засобів і технологій

## Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Дослідження параметрів точності мініатюрної метеорологічної станції»

ХАІ 502.560м.23О.172. 1905015.ПЗ

Виконав: студент 2 курсу групи № 560М

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

(код та найменування)

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

(код та найменування)

Освітня програма «Радіоелектронні

комп'ютеризовані засоби»

(шифр і назва напрямку підготовки (спеціальності))

Євтушенко Ю.В.

(прізвище та ініціали студентки)

Керівник: Олійник В. М., к.т.н., доцент

(прізвище та ініціали)

Рецензент: І. Ш. Невлюдов., д.т.н., професор

(прізвище й ініціали)



5. Перелік графічного матеріалу (додатків):

1. Блок-схема методу підвищення метрологічного ресурсу (плакат, арк. А4).

2. Структурна схема пристрою (плакат, арк. А4).

3. Результати калібрування (плакат, арк. А4).

4. Схема стабілізатора (плакат, арк. А4).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Усі розділи	Олійник В.М, доцент	10.10.23	10.01.24

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ В. М.Олійник «10» січня 2024 р.  
(підпис) (ініціали та прізвище)

7. Дата видачі завдання «10» жовтня 2023 р

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

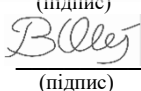
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Отримання завдання	10.10.2023 р.	
2	Аналітичний огляд метеорологічних датчиків	24.10.2023–01.11.2023	
3	Оцінка та підвищення метрологічної надійності вимірювальних засобів у реальних умовах експлуатації	02.11.2023–10.11.2023	
4	Дослідження функціональної структури метеостанції, та зовнішній вплив факторів на елементи схеми	11.11.2023–21.11.2023	
5	Визначення меж точності метеорологічної станції	22.11.2023–07.12.2023	
6	Розрахунок похибки метеорологічної станції	08.12.2023–17.12.2023	
7	Розробка стартап-проекту	18.12.2023–24.12.2023	
8	Оформлення пояснювальної записки	25.12.2023-05.01.2024	
9	Попередній захист роботи та усунення зауважень.	08.01.2024–16.01.2024	
10	Захист кваліфікаційної роботи.	19.01.2024	

Здобувач вищої освіти

  
(підпис)

Ю.В. Евтушенко  
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

  
(підпис)

В. М. Олійник  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: с. 122, рис. 18, табл. 34, дод. 3, джерел 19.

### КАЛІБРУВАННЯ, МЕТЕОРОЛОГІЧНА СТАНЦІЯ, ПОХИБКА, СЕНСОРИ ПОГОДНИХ ЧИННИКІВ, ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ

*Об'єкт проектування* – мініатюрна метеорологічна станція.

*Мета роботи* – підвищення точності вимірювання мініатюрної метеорологічної станції.

*Мета дослідження* є вдосконалення параметрів точності вимірювання мініатюрної метеорологічної станції. Завдання включають аналіз існуючих метеостанцій, дослідження методів вдосконалення точності вимірювання параметрів, визначення меж точності, дослідження функціональної структури станції під впливом зовнішніх факторів, методи зменшення похибки та розробка стартап-проекту.

Для досягнення поставленої мети були проаналізовані існуючі реалізації метеорологічної станції з параметрами вимірювання, оцінено і підвищено метеорологічної надійності вимірювальних засобів у реальних умовах експлуатації досліджено вплив зовнішніх факторів на чутливі елементи структурної схеми метеорологічної станції та формули розрахунку точності і похибки станції.

*Оцінка показників* - на основі аналізу схеми метеорологічної станції та математичних розрахунків.

Проведено дослідження метеорологічних датчиків, дослідили необхідну точність приладу, розраховали параметр похибки вихідних параметрів, привели схеми та графіки порівняння метеорологічних станцій. Провели аналіз отриманих параметрів.

*Наукова новизна* - є запропоновані методи та засоби покращення точності метеорологічної станції, які мінімізують похибку при вимірюванні параметрів, що дозволить отримувати більш точні данні в різних випадках експлуатації.

## ABSTRACT

Explanatory note for the qualification work: p. 122, fig. 18, table 34, app. 3, sources 19.

### CALIBRATION, METEOROLOGICAL STATION, ERROR, WEATHER SENSOR, ACCURACY OF MEASUREMENTS

The object of the design is a miniature meteorological station.

The purpose of the work is to increase the accuracy of measurements of the miniature meteorological station.

The goal of the research is to improve the parameters of accuracy in measuring a miniature meteorological station. The tasks include analyzing existing weather stations, investigating methods to improve the accuracy of parameter measurements, determining accuracy limits, studying the functional structure of the station under the influence of external factors, methods of reducing errors, and developing a startup project.

To achieve the set goal, existing implementations of meteorological stations with measurement parameters were analyzed, and the metrological reliability of measuring instruments in real operating conditions was assessed and improved. The influence of external factors on sensitive elements of the structural scheme of the meteorological station was investigated, as well as formulas for calculating the accuracy and error of the station.

Evaluation of indicators based on the meteorological station scheme and mathematical calculations. Research on meteorological sensors was conducted, the necessary accuracy of the device was investigated, the parameter error of output parameters was calculated, and schemes and graphs comparing meteorological stations were presented. An analysis of the obtained parameters was carried out.

Scientific novelty includes proposed methods and means to improve the accuracy of the meteorological station, minimizing errors in measuring parameters, allowing for more accurate data in various operating conditions.

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВП – вимірювальний перетворювач

ВЗ – вимірювальний засіб

ВМ – вимірювальний коефіцієнт

МН – метрологічна надійність

МХ – метрологічна характеристика

ТК – температурний коефіцієнт

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	6
ВСТУП.....	10
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ДАТЧИКІВ.....	12
1.1 Огляд аналогів цифрових метеостанцій.....	12
1.2 Аналітичний огляд та класифікація первинних вимірювальних перетворювачів .....	16
1.3 Аналітичний огляд сенсорів швидкості та напрямку вітру .....	22
1.3.1 Огляд існуючих аналогів ультразвукових анемометрів.....	25
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1.....	27
2. ОЦІНКА ТА ПІДВИЩЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ У РЕАЛЬНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ..	29
2.1 Аналіз метода оцінки та підвищення метрологічної надійності.....	29
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2.....	36
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ МЕТЕОСТАНЦІЇ, ТА ЗОВНІШНІЙ ВПЛИВ ФАКТОРІВ НА ЕЛЕМЕНТИ СХЕМИ.....	37
3.1 Вплив зовнішніх факторів на блок контролера .....	38
3.2 Вплив зовнішніх факторів на блок давача погодних показників .....	42
3.3 Методи покращення параметрів вимірювання методами калібрування...	44
3.4 Вплив зовнішніх факторів на блок анемометра.....	46

	8
3.4.1 Методи покращення параметрів вимірювання анометра .....	47
ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 3.....	48
4. ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ТОЧНОСТІ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ СТАНЦІЇ .....	49
4.1 Аналіз точності вимірювання первинних перетворювачів.....	49
4.1.1 Первинний перетворювач температури.....	49
4.1.2 Первинний перетворювач відносної вологості.....	52
4.1.3 Первинний перетворювач атмосферного тиску.....	55
4.1.4 Сенсор вуглекислого газу .....	57
ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 4.....	58
5. РОЗРАХУНОК ПОХИБКИ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ СТАНЦІЇ.....	60
5.1 Оцінювання вірогідності контролю .....	60
5.2 Калібрування датчиків та вихідні дані для прогнозування .....	69
5.2.1 Калібрування датчика напрямку вітру .....	69
5.2.2 Калібрування датчика швидкості вітру .....	71
5.2.3 Калібрування датчика атмосферного тиску .....	74
5.2.4 Калібрування датчика температури та вологості .....	75
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5.....	79
6 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ .....	81
6.1 Опис ідеї стартап-проекту.....	81



6.2 Технологічна перевірка оцінки використання технологій та оцінка доступності.....	87
6.3 Розвиток стартап проекту.....	88
6.4 Аналіз ринку можливостей початку стартап проекту.....	92
6.5 Аналіз SWOT для стартапу, стратегія реклами, та оцінка вартості. ....	103
ВИСНОВОК.....	111
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	114
ДОДАТОК А «Блок-схема методу підвищення метрологічного ресурсу».....	116
ДОДАТОК Б «Структурна схема пристрою» .....	118
ДОДАТОК В «Результати калібрування» .....	120
ДОДАТОК Г «Схема стабілізатора» .....	122

## ВСТУП

*Актуальність дослідження* сучасний розвиток технологій вимагає постійного вдосконалення та оптимізації метеорологічних систем, зокрема мініатюрних метеостанцій, які можуть забезпечити точні та надійні дані про погодні умови в обмеженому просторі. Мініатюрні метеостанції стають дедалі більш важливими у відділах науки, техніки та практичних застосуваннях, таких як сільське господарство, екологія та безпека.

Проблеми точності вимірювань є критичними для використання мініатюрних метеостанцій у дослідженнях та практиці. Висока точність вимагає систематичного аналізу та дослідження різних параметрів метеорологічних станцій, таких як температура, вологість, тиск, вітер, тощо.

Тому тема роботи, яка спрямована на дослідження та вдосконалення параметрів точності мініатюрної метеорологічної станції, є актуальною науково-технічною задачею.

Робота виконана в Національному аерокосмічному університеті ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» на кафедрі радіоелектронних та біомедичних комп'ютеризованих засобів і технологій.

Метою даного дослідження є ретельний аналіз та вдосконалення параметрів точності мініатюрної метеорологічної станції. Це включатиме аналіз методів калібрування сенсорів, визначення меж точності метеорологічної станції

*Мета і завдання дослідження.* Метою даної роботи є вдосконалення параметрів точності мініатюрної метеорологічної станції.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішення наступних завдань:

- проведення аналізу існуючих мініатюрних метеостанцій та їхніх параметрів точності.
- розробка методів та технологій для вдосконалення точності вимірювань мініатюрної метеорологічної станції.

- визначення меж точності мініатюрної станції.
- дослідження функціональної структури метеостанції, методи підвищення надійності та зовнішній вплив факторів на елементи схеми.
- дослідження функціональної структури метеостанції, та зовнішній вплив факторів на елементи схеми
- розрахунок похибки метеорологічної станції.
- розробка стартап-проекту

*Об'єктом дослідження є параметри точності мініатюрної метеорологічної станції.*

*Предметом дослідження є методи та засоби підвищення точності мініатюрної метеорологічної станції.*

*Методи дослідження – метод аналітичного-вірогідного прогнозування, метод збільшення метеорологічного ресурсу, метод інтерполяції, 1. Статичного колибрування. метод динамічного колибрування., компенсаційний метод за допомогою зовнішніх даних, метод математичної моделі.*

*Мета і завдання дослідження Метою дослідження є вдосконалення параметрів точності вимірювання мініатюрної метеорологічної станції. Завдання включають аналіз існуючих метеостанцій, дослідження методів вдосконалення точності вимірювання параметрів, визначення меж точності, дослідження функціональної структури станції під впливом зовнішніх факторів, методи зменшення похибки та розробка стартап-проекту.*

*Наукова новизна.* Запропановані методи та засоби покращення точності метеорологічної станції, мінімізують похибку при вимірюванні параметрів, що дозволить отримувати більш точні данні.

*Практична цінність отриманих результатів* полягає в тому, що впровадження результатів роботи дозволить вдосконалити мініатюрні метеорологічні станції, що полегшить їх використання у різних галузях, де точність та достовірність даних є критичними, таких як аграрний сектор, екологічні дослідження та системи безпеки.

## 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ДАТЧИКІВ

Покращення надійності метеостанції важливою мірою вплине на ефективність забезпечення галузей економіки метеорологічною інформацією. Надійність є ключовим фактором у забезпеченні стабільності та точності отриманих даних. Аналіз типових рішень для цифрових портативних метеорологічних станцій дозволить ідентифікувати можливість вдосконалення та врахувати недоліки з метою підвищення надійності пристрою. Ретельне вивчення принципу роботи існуючих рішень сприятиме розробці нового приладу з покращеною надійністю, що в свою чергу позитивно вплине на якість зібраних метеорологічних даних та їх використання в різних сферах життєдіяльності.

### 1.1 Огляд аналогів цифрових метеостанцій

НанаEWS-1400 [1] є метеостанцією для побутового використання, яка забезпечує вимірювання відносної вологості, температури та рівня атмосферного тиску. Вигляд пристрою можна оглянути на (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд HamaEWS-800

Метеостанція обладнана монохромним дисплеєм, який знаходиться на передній панелі блоку і освітлюється світлодіодами. Кнопки управління розташовані під дисплеєм, а живлення забезпечується батарейками, розташованими у відсіку на задній панелі базового блоку.

Важливою функцією цієї метеостанції є можливість підключення додаткових бездротових сенсорів, які можуть працювати на відстані. Технічні характеристики метеостанції подані у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Характеристики NanaEWS-1400

№	Назва характеристики	Значення
1	Діапазон вимірювання температури, °C	-40...+65
2	Діапазон вимірювання вологи, %	20...95
3	Діапазон вимірювання тиску, гПа	350...1000
4	Матеріал корпусу	пластик
5	Живлення	від батарейок (3xAA)
6	Габарити, мм	110x35x190
7	Додаткові функції	годинник, календар
8	Ціна, грн	1200

По вимірним значенням метеостанція може робити приблизний прогноз погоди на час до п'яти днів.

Недоліками метеостанції є недостатня точність вимірювання температури (у якості сенсора температури використовується звичайний кремнієвий діод).

Якщо аналізувати приклади користування цієї метеостанцією по відгукам людей в інтернеті то:

- точність прогнозу збігається з поточною погодною ситуацією приблизно на 75%, хоча якщо в 5 км від місця, де встановлена метеостанція, йде дощ, то на табло не виключена сонячна погода.

- при вимірюванні температури у виробничому приміщенні розбіжності менше 5% між показаннями метеостанції і термостатом котельні.

Також низька контрастність зображення внаслідок нерівномірної підсвітки та не дуже зручні одиниці вимірювання тиску (замість міліметрів використовуються дюйми р.с).

Метеостанція First FA-2461 [2] є більш доступним і простим варіантом, який здатний отримувати дані про температуру і вологість повітря. Зовнішній вигляд приладу показано на (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд First FA-2460

Метеостанція володіє LCD екраном із підсвічуванням LED. Кнопки управління розташовані під дисплеєм, а живлення здійснюється за рахунок батарейок, розміщених у спеціальному відсіку задньої панелі блоку. Інтерфейс є досить зручним і дозволяє швидко налаштовувати пристрій. При необхідності можна настроїти одиниці вимірювання температури. Характеристики пристрою наведено у таблиці 1.2.

Недоліками метеорологічної станції є відсутність підсвітки та неможливість проведення вимірів при низьких температурах.

Таблиця 1.2 - Характеристики First FA-2460

№	Назва характеристики	Значення
1	Діапазон вимірювання температури, °C	0...+50
2	Діапазон вимірювання вологи, %	20...90
3	Матеріал корпусу	пластик
4	Живлення	від батарейок (3xAA)
5	Габарити, мм	200x125x25
6	Додаткові функції	годинник, календар
7	Ціна, грн	1369

Проаналізувавши відгуки користувачів цієї метеостанції можна зробити висновок що метеостанція завищує температуру повітря приблизно на 1,5 C, а похибка вимірювання вологості становить близько 5,2%. Беручи до уваги точність вимірювань, можна зробити висновок, що дана метеостанція підходить для побутового використання.

Метеостанція TFA-3511 є домашньою метеостанцією, призначеною для вимірювання температури та вологості. Крім того, ця метеостанція може надавати інформацію про якість повітря, виявляючи небезпечні речовини, такі як сигаретний дим, вуглекислий газ та метан. У випадку значної концентрації шкідливих речовин у повітрі передбачений звуковий сигнал [3].

Зовнішній вигляд пристрою зображений на (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд TFA-3511

Прилад має досить невеликі габарити відносно моделей розглянутих раніше. Монохромний дисплей розташовується на передній панелі блоку разом із кнопками управління. Живлення здійснюється за рахунок батарейок, які знаходяться у спеціальному відсіку задньої панелі блоку. Характеристики приладу наведено у табл. 1.3.

Таблиця 1.3 - Характеристики метеостанції TFA-3511

№	Назва характеристики	Значення
1	Діапазон вимірювання температури, °C	15...+55
2	Діапазон вимірювання вологи, %	20...95
3	Матеріал корпусу	пластик
4	Живлення	від батарейок (3xAAA)
5	Габарити, мм	150x80x45
6	Додаткові функції	годинник, календар
7	Ціна, грн	2900

До недоліків метеостанції можна віднести недостатньо широкий діапазон вимірювання температури, а також досить високу ціну.

Проаналізувавши відгуки користувачів цієї метеостанції можна зробити висновок що метеостанція завищує температуру повітря приблизно на 1 C, а похибка вимірювання вологості становить близько 3,5%. Оцінюючи точність вимірювань, можна прийти до висновку, що ця метеостанція також є відповідною для домашнього використання.

## 1.2 Аналітичний огляд та класифікація первинних вимірювальних перетворювачів

Проаналізуємо основні первинні вимірювальні перетворювачі, які використовуються у метеорологічних станціях для визначення погодних факторів.

Вимірювальні перетворювачі грають важливу роль у забезпеченні точності вимірювань, оскільки вони взаємодіють з об'єктом вимірювання та перетворюють



фізичні величини у вихідні сигнали. Точність цих перетворювачів визначає надійність та достовірність отриманих метеорологічних даних. Особливу увагу слід приділити систематизації та класифікації вимірювальних перетворювачів, що є важливим етапом у підвищенні точності метеорологічних вимірювань.

Вихідні сигнали цих перетворювачів повинні бути зручними для передавання, подальшого перетворення, оброблення і зберігання інформації.

На сучасному етапі існує велика різноманітність вимірювальних перетворювачів для різних фізичних величин, які поділяються за принципом дії та призначенням. Із розвитком науки і техніки їх постійно удосконалюють та розробляють нові види. Дослідження вимірювальних перетворювачів неможливе без їх систематизації та класифікації.

За фізичними закономірностями, покладеними в основу принципу дії, ВП можна поділити на такі групи:

1. Механічні пружні перетворювачі, такі як давачі, грають важливу роль у досягненні точних вимірювань в метеостанціях. Принцип їхньої дії базується на залежності між вхідними механічними зусиллями та викликаними ними переміщеннями чи механічними напруженнями в чутливому елементі. Це дозволяє точно визначати показники, такі як тиск чи температура, забезпечуючи надійні та точні дані для метеорологічних вимірювань. Такі перетворювачі знаходять широке застосування в метеостанціях, де точність вимірювань є вирішальною для отримання достовірної інформації про погодні умови.

2. Резистивні перетворювачі (механічних величин). Перетворювачі на основі опору, зокрема терморезистивні та електрохімічні, відіграють вагомую роль у досягненні точних вимірювань в метеостанціях. У випадку резистивних перетворювачів механічних величин, зміна електричного опору виникає внаслідок переміщення повзунка реостата або реохорда і може бути використана для вимірювання таких параметрів, як тиск чи вологість. Терморезистивні перетворювачі надають можливість точно визначати зміни температури, що важливо для метеорологічних досліджень. Резистивні перетворювачі забезпечують надійні та точні дані, що є важливим для отримання достовірної інформації про погодні умови.

3. Ємнісні перетворювачі. Базуються на залежності ємності конденсатора від відстані між його електродами, площі їх перекриття чи діелектричної проникності середовища між електродами, можуть бути застосовані у метеостанціях для точного вимірювання різних параметрів. Наприклад, ємнісні перетворювачі можуть використовуватися для вимірювання вологості повітря, де зміна ємності конденсатора пов'язана зі зміною вологості. Такий принцип дії забезпечує точні та надійні вимірювання, необхідні для отримання достовірної інформації про погодні умови.

4. П'єзоелектричні перетворювачі, які використовують явище поляризації п'єзоелектрика під дією механічних зусиль, можуть бути використані в метеостанціях для точних вимірювань різних параметрів. Наприклад, п'єзореzonансні перетворювачі можуть використовуватися для вимірювання температури, де зміна резонансної частоти п'єзоелемента пов'язана зі зміною температури довкілля.

5. Індуктивні перетворювачі, які використовують залежність повного електричного опору намагнічувальної обмотки від комплексного магнітного опору магнітного кола перетворювача, можуть бути використані в метеостанціях для точних вимірювань різних параметрів. Наприклад, зміна повітряного проміжку в магнітному колі перетворювача може бути пов'язана зі змінами вологості або тиску, а зміна магнітних властивостей феромагнетика може вказувати на зміни в магнітному полі, що може бути використано для вимірювання погодних умов з високою точністю.

6. Взаємоіндуктивні (трансформаторні) перетворювачі, які використовують залежність магнітного потоку від комплексного магнітного опору магнітопроводу, можуть забезпечити точне вимірювання параметрів у метеостанціях. Наприклад, зміна повітряного проміжку чи магнітних властивостей феромагнетика в магнітопроводі може вказувати на зміни у вологості чи тиску. Також може використовуватися для вимірювання тиску в атмосфері. Зміна магнітного опору магнітопроводу, спричинена зміною атмосферного тиску, може впливати на електричний сигнал у вторинній обмотці, що дозволяє отримувати дані з високою точністю про зміни тиску в оточуючому середовищі.

7. Індукційні перетворювачі. В метеостанції індукційні перетворювачі можуть використовуватися для вимірювання швидкості зміни магнітного поля, що може

бути пов'язано зі змінами у силі та напрямку вітру. Відповідно, швидкість зміни магнітного потоку буде пропорційною інтенсивності вітру, що дозволяє точно вимірювати цей метеорологічний параметр з високою точністю.

8. Гальваномагнітні перетворювачі. У метеостанціях гальваномагнітні перетворювачі можуть забезпечувати точне вимірювання магнітних полів, що є важливим для детального аналізу метеорологічних умов. Наприклад, магніторезистивні перетворювачі можуть використовуватися для вимірювання змін опору провідника в залежності від впливу магнітного поля, що дозволяє точно визначати інтенсивність магнітного впливу, пов'язаного, наприклад, із змінами у сонячній активності.

9. Теплові перетворювачі. Такі як терморезистивні та термоелектричні, є ключовими для забезпечення точних вимірювань в метеостанціях. Наприклад, терморезистивні перетворювачі, використовуючи залежність опору матеріалу від температури, дозволяють точно визначати температурні зміни в атмосфері. Термоелектричні перетворювачі, такі як термопари, використовують залежність термо-ЕРС від різниці температур для визначення температурних градієнтів та надають точні дані щодо температурного режиму. Або використання термопар для вимірювання температури поверхні ґрунту або води, що робить їх незамінними у забезпеченні повноцінної метеорологічної інформації.

10. Електрохімічні перетворювачі в метеостанціях грають важливу роль у забезпеченні точних та надійних вимірів показників атмосферних умов. Основний принцип їх дії ґрунтується на залежностях електропровідності електролітичної комірки від різних параметрів досліджуваного середовища. Наприклад, електрохімічні резистивні перетворювачі використовують зміни електропровідності електроліту в залежності від його складу та концентрації, що важливо для вимірювання рівнів розчинених речовин в атмосферному повітрі.

Гальванічні перетворювачі рН-метрів використовують залежність електродних потенціалів від активності водневих іонів. Це може бути корисним для визначення кислотності або лужності атмосфери, що важливо для розуміння її хімічного складу. Потенціометричне визначення концентрації йонів речовин за допомогою йоно-селективних електродів, також використовується в метеостанціях для точного

вимірювання концентрації певних хімічних сполук у водних розчинах, що може бути пов'язане, наприклад, із забрудненням атмосфери.

Таким чином, електрохімічні перетворювачі сприяють підвищенню надійності вимірювань в метеостанціях, дозволяючи отримувати точні дані про хімічний склад та зміни у атмосферних умовах.

11. Акустичні перетворювачі в метеостанціях використовують принцип, що базується на властивостях акустичних коливань у пружному середовищі. Цей принцип дозволяє вимірювати параметри атмосферних умов через аналіз змін акустичних характеристик середовища.

Залежність параметрів акустичних коливань від температури, вологості чи інших характеристик атмосфери може бути використана для вимірювання цих величин. Акустичні хвилі, розповсюджуючись у повітрі, можуть взаємодіяти з різними атмосферними параметрами, що призводить до змін у їх характеристиках.

Використання акустичних перетворювачів в метеостанціях дозволяє отримувати точні та надійні дані про атмосферні умови, оскільки вони здатні реагувати на різноманітні параметри навколишнього середовища. Такий підхід підвищує надійність вимірювань та допомагає отримувати більш повне уявлення про зміни в атмосфері.

12. Оптичні перетворювачі у метеостанціях працюють на основі принципу, що визначає взаємозв'язок параметрів оптичного (світлового або теплового) випромінювання зі значенням вимірюваної величини. Цей принцип може виявлятися у впливі вимірюваної величини на джерело оптичного випромінювання або на оптичний канал, змінюючи параметри оптичного потоку.

В оптичних пірметрах вимірювана величина може безпосередньо впливати на джерело оптичного випромінювання, що призводить до змін інтенсивності цього випромінювання. У вимірювачах оптичної щільності вимірювана величина може впливати на оптичний канал, змінюючи параметри оптичного потоку.

Застосування оптичних перетворювачів в метеостанціях сприяє підвищенню надійності вимірювань, оскільки вони забезпечують точне відображення змін в атмосферних умовах. Здатність оптичних систем реагувати на величини, такі як

температура чи щільність, допомагає отримувати достовірні дані та забезпечує ефективну роботу метеостанції.

13. Квантові перетворювачі в метеостанціях використовують принцип вибіркового поглинання або випромінювання електромагнітних хвиль речовиною під впливом магнітного поля. Цей принцип може виявлятися через взаємодію з елементарними частинками, що призводить до резонансного поглинання або випромінювання енергії. Квантові перетворювачі включають у себе електронні парамагнітні та ядерні магнітні резонансні перетворювачі. Також до цієї категорії входять перетворювачі, що базуються на ефекті Джозефсона.

Застосування квантових перетворювачів у метеостанціях сприяє підвищенню надійності вимірювань. Їх здатність реагувати на електромагнітні хвилі та магнітні поля дозволяє отримувати точні дані про атмосферні явища. Це особливо важливо для вимірювань, пов'язаних із змінами у складі атмосфери та метеорологічних умовах, що сприяє підвищенню ефективності та точності роботи метеостанції.

14. Перетворювачі іонізуючого випромінювання в метеостанціях діють на основі конвертації інтенсивності іонізуючого чи рентгенівського випромінювання в електричний сигнал. Цей принцип є ключовим для точного вимірювання рівня іонізації в атмосфері.

Використання таких перетворювачів в метеостанціях сприяє підвищенню надійності вимірювань. Здатність перетворювачів реагувати на іонізуюче випромінювання дозволяє надійно визначати рівень радіації в атмосфері, що може бути важливим для моніторингу ядерної та радіаційної безпеки. Це забезпечує додатковий рівень достовірності та ефективності в зборі даних в метеостанції, зокрема, при вимірюваннях, пов'язаних із змінами у рівнях іонізації атмосфери.

15. Біологічні перетворювачі, відомі як біосенсори, в метеостанціях використовують принцип реакції деяких біологічних матеріалів на фізико-хімічні зміни в зовнішньому середовищі. Ці біосенсори генерують електричні сигнали, які відображають ці зміни, і можуть бути використані як потенціалометричні перетворювачі.

У цьому контексті, біосенсори можуть допомагати підвищити надійність метеостанцій, оскільки вони використовують властивості біологічних матеріалів для

виявлення змін у факторах навколишнього середовища. Це може включати вимірювання рівнів органічних сполук у розчинах за допомогою вольтамперметричних перетворювачів.

Такий підхід дозволяє біосенсорам ефективно реагувати на різноманітні зміни в атмосфері, забезпечуючи більш точні та надійні дані в метеостанціях. Інтеграція біологічних перетворювачів може підняти рівень надійності вимірювань, зокрема, у вимірюваннях, пов'язаних із змінами фізико-хімічних параметрів навколишнього середовища в метеостанціях.

16. Радіохвильові перетворювачі в метеостанціях працюють на основі взаємодії електромагнітних хвиль у високочастотному та надвисокочастотному діапазонах частот з об'єктами, які вивчаються. Цей принцип є основою для отримання точних та достовірних даних про атмосферні умови.

Застосування радіохвильових перетворювачів у метеостанціях сприяє підвищенню надійності вимірювань. Їхнє використання дозволяє ефективно взаємодіяти з об'єктами дослідження за допомогою електромагнітних хвиль. Це важливо для точного вимірювання параметрів атмосфери та погоди, що забезпечує надійність та стабільність роботи метеостанції.

Окрім класичних, сьогодні все більше застосовують мікрота наносенсори. Аналогічні до викладених вище тверджень також стосуються цих мініатюрних вимірювальних перетворювачів [4].

### 1.3 Аналітичний огляд сенсорів швидкості та напрямку вітру

Анемометр – це прилад, призначений для вимірювання швидкості та напрямку руху повітря та газів, як у обмежених потоках (наприклад, у повітропроводах), так і у вільних атмосферних потоках. Головна функція анемометрів пов'язана з метеорологічними вимірюваннями, оскільки зміни в швидкості та напрямку вітру свідчать про зміни погодних умов, що є важливим для різних сфер, таких як авіація, мореплавство та інженерія.

Анемометри використовують прості та портативні прилади для вимірювання цих параметрів, що дозволяє ефективно виявляти зміни в атмосферних умовах, навіть в умовах польових досліджень.

Принцип їх роботи полягає у виявленні змін фізичних властивостей потоку або впливу потоку на механічний пристрій, розташований у потоці. Анемометри можуть вимірювати різні параметри, такі як загальна швидкість, швидкість у площині та компонент швидкості в конкретному напрямку. Більшість сучасних анемометрів також здатні вимірювати напрям вітру та об'ємну витрату повітря відповідно до моделі [5].

Виділяють декілька окремих різновидів пристроїв, здатних проводити розрахунків швидкості вітру. В залежності від способу вимірювання та типу приймального пристрою анемометри поділяють на наступний ряд типів:

- a) обертальні (крильчаті, чашкові)
- b) теплові
- c) динамометричні (з трубками Піто)
- d) ультразвукові
- e) оптичні

Обертальні анемометри є найбільш поширеними і визначаються видом приймачого пристрою, таким як чашка чи крильчатка. У чашкових анемометрах чутливий елемент представляє собою хрестовину з чотирма металевими чашками напівсферичної форми, що закріплені на осі. При попаданні пристрою в потік повітря тиск на внутрішню поверхню чашки перевищує тиск на зовнішню поверхню, спричинюючи обертання лопаті. Вісь лопаті пов'язана з вимірювальним механізмом, який обчислює кількість обертів за певний час. Таким чином, чашкові анемометри вимірюють швидкість потоку в площині, перпендикулярній до осі обертання чашок, незалежно від турбулентних потоків. Ці анемометри широко застосовуються в метеорології для вимірювань на відкритих місцевостях. Однак їхній діапазон вимірювань обмежений (від 1 до 50 м/с), і вони не можуть безпосередньо визначати напрям вітру.

Для вимірювання швидкостей потоків у трубах, вентиляційних шахтах, каналах та системах кондиціонування застосовують крильчаті анемометри, особливо там, де спостерігається стале напрямку руху потоку. Ці анемометри є високочутливими і

здатними вимірювати швидкості від 0,1 м/с. Приймаючий пристрій має форму крильчатки, яка викликається рухом газу. Крильчатка прикріплена до трубочастої осі, яка, в свою чергу, з'єднана з механізмом для обчислення кількості обертів за певний період часу. У більш простих моделях крильчатка жорстко з'єднана з вимірювальним блоком, а в деяких моделях використовується гнучке з'єднання для вимірювань у важкодоступних місцях. Основними недоліками крильчатих анемометрів є їхні великі розміри та обмежені можливості вимірювання.

Теплові анемометри, хоч і менш поширені, проте відзначаються високою точністю вимірювань. Зазвичай вони використовуються для вимірювання швидкостей повільних потоків, мають низьку інерційність, але вимагають постійного калібрування. Принцип їх роботи полягає в вимірюванні температури розігрітої пластини чи нитки, на яку впливає вітер. Залежно від швидкості вітру, необхідна різна кількість енергії для того, щоб підтримувати постійну температуру. Таким чином, за температурою пластини можна визначити швидкість вітру.

Вимірювання швидкості потоку повітря можна виконувати за допомогою трубки Піто, яка є скляною трубкою у формі букви "Г" і закрита з одного кінця. Цей метод отримав назву на честь свого винахідника. Швидкість руху повітря розраховується шляхом порівняння надлишкового тиску повітря всередині трубки та зовнішнього тиску. Такий підхід використовується для визначення відносної швидкості та об'ємної витрати в газоходах і вентиляційних системах. Ці анемометри називаються динамометричними.

Ультразвукові анемометри ґрунтуються на визначенні швидкості звуку на приймачі, залежно від характеристик потоку повітря. Це представляє сучасні та високоточні пристрої, які можуть також визначати напрямок вітрових потоків. Ультразвукові прилади можуть бути тривимірними або двовимірними. Перші дозволяють вимірювати напрямок руху потоків у трьох компонентах. З іншого боку, двовимірні метеорологічні прилади дозволяють вимірювати напрямок і швидкість вітру лише в горизонтальній площині.

Ультразвукові анемометри вирізняються найвищою точністю та відсутністю недоліків, які притаманні розглянутим вище моделям. Ця висока точність вимірювань



особливо важлива для метеостанцій, оскільки точні дані про швидкість та напрям вітру дозволяють здійснювати точні прогнози погоди. Ультразвукові анемометри зазвичай можуть вимірювати швидкість вітру у діапазоні приблизно 0.5 м/с до 75 м/с, що робить їх ефективними для різноманітних погодних умов. Крім того, вони є найбільш практичними для вимірів в віддалених та важкодоступних місцях, що є важливим аспектом для портативних метеостанцій, які можуть використовуватися в різних умовах. З урахуванням цього, для забезпечення найвищої точності вимірювань в різних умовах було вирішено використовувати ультразвукові анемометри.

### 1.3.1 Огляд існуючих аналогів ультразвукових анемометрів

Розглянемо ультразвукові сенсори вітру від компанії "Vaisala", які зазвичай мають антену з трьох рівновіддалених ультразвукових перетворювачів, розташованих горизонтально. Швидкість і напрямок вітру визначаються за час, який ультразвук проходить від одного перетворювача до двох інших. Сенсор вимірює час проходження звуку (в обох напрямках) по трьом сторонам трикутника, утвореного перетворювачами. Цей час залежить від швидкості вітру на шляху ультразвуку. При відсутності вітру час проходження ультразвуку в обох напрямках буде однаковим. У випадку наявності вітру вздовж траєкторії поширення ультразвуку час проходження змінюється: збільшується при русі проти напрямку вітру і зменшується при русі у напрямку вітру. Така конструкція дозволяє уникнути внесення корекцій за швидкість звуку через атмосферний тиск, температуру і вологість повітря [6].

Сенсор вітру WMT700 (рис. 1.4) використовує технологію ультразвукових сенсорів Vaisala WINDCAP для вимірювання характеристик вітру. Цей пристрій оснащений вбудованим мікроконтролером, який реєструє та обробляє дані, а потім передає їх через послідовні інтерфейси. Антена сенсора має три рівновіддалених ультразвукових перетворювачі, розташованих горизонтально. Швидкість вітру (WS) і його напрям (WD) визначаються за час, який ультразвук проходить від одного перетворювача до двох інших. Прилад вимірює час проходження звуку (в обох напрямках) за трьома сторонами трикутника, утвореного перетворювачами. Цей час залежить від

швидкості вітру на шлях ультразвуку. При відсутності вітру час проходження ультразвуку в обох напрямках буде однаковим. У випадку наявності вітру вздовж траєкторії поширення ультразвуку час проходження змінюється: збільшується при русі проти напрямку вітру і зменшується при русі у напрямку вітру [7].

Мікропроцесор мікроконтролера обчислює швидкість вітру на основі вимірюваного часу проходження ультразвуку за (формулою 1.1):

$$V_w = 0,5 * L * \left( \frac{1}{t_f} - \frac{1}{t_r} \right) \quad (1.1)$$

де  $V_w$  — швидкість вітру;  $L$  — відстань між двома перетворювачами,  $t_f$  — час проходження ультразвуку у прямому напрямку,  $t_r$  — час проходження ультразвуку у зворотному напрямку.



Рисунок 1.4 – Ультразвуковий сенсор WMT700

Шестирівневе вимірювання часу проходження ультразвуку дозволяє обчислити швидкість вітру для кожної з трьох траєкторій. Значення швидкості вітру на двох траєкторіях масиву достатньо для визначення швидкості і напрямку вітру. Обчислені швидкості вітру не залежать від висоти над рівнем моря, температури і вологості. Значення цих факторів враховані при вимірі часу проходження ультразвуку в обох

напрямок, хоча час проходження ультразвуку в одному напрямку залежить від цих параметрів.

Трикутна геометрія сенсора перетворюється в ортогональні координати для отримання компонентів  $x$  і  $y$ . Потім прилад перетворює вектори напрямку вітру в полярні координати. Датчик фіксує швидкість вітру ( $x, y$ ) як дві скалярні швидкості, одна з яких паралельна напрямку північ-південь ( $x$ ), а інша — напрямлення захід-схід ( $y$ ). Одиниці виміру швидкості можуть бути метри в секунду (м/с), вузли (кн), милі за годину (миль/год) і кілометри за годину (км/год). Для розрахунку компонентів  $x$  і  $y$ , (формула 1.2):

$$x = WS \cdot \cos WD, y = WS \cdot \sin WD \quad (1.2)$$

Сенсор фіксує полярну швидкість вітру у вигляді скалярної величини в обраних одиницях (м/с, кн, миль/год і км/год). Полярний напрямок вітру виражається в градусах ( $^\circ$ ). Сенсор вказує напрямок, звідки дме вітер. Північ позначається як  $0^\circ$ , схід — як  $90^\circ$ , південь — як  $180^\circ$ , захід — як  $270^\circ$ .

Ці формули та вимірювання сприяють поліпшенню точності та достовірності визначення параметрів вітру у метеостанції, роблячи її більш ефективною та надійною.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Детальний аналіз сучасного ринку цифрових метеорологічних станцій показав велике різноманіття пристроїв, побудованих на різних принципах дії первинних перетворювачів. Однак точність та діапазон вимірювань багатьох доступних на ринку приладів може не завжди відповідати вимогам для проведення деяких метеорологічних досліджень. Крім того, їхнє використання у віддалених та важкодоступних місцях може становити проблему.

В результаті огляду сучасних метеостанцій і методів вимірювання метеорологічних параметрів виникає доцільність створення нової метеорологічної станції. Ця станція повинна бути здатною вимірювати одночасно шість метеорологічних чинників з широким діапазоном вимірювань та високою точністю. Важливою перевагою такої станції є її здатність працювати в різних кліматичних умовах. Також відзначається перспективність використання універсальних сенсорів, які можуть вимірювати декілька метеорологічних параметрів одночасно.

Отже, розробка та впровадження нової метеорологічної станції виходить за межі існуючих можливостей, спрямовуючись на покращення точності та універсальності вимірювань у різних умовах та сприяючи подальшому розвитку метеорологічних досліджень.

## 2. ОЦІНКА ТА ПІДВИЩЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ У РЕАЛЬНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У розділі буде проведено аналіз впливу параметрів довкілля на показники метрологічної надійності. Наведений метод підвищення метрологічної надійності засобів вимірювань на основі даних про вплив параметрів навколишнього середовища на швидкість старіння елементної бази.

### 2.1 Аналіз метода оцінки та підвищення метрологічної надійності.

Розробка методів оцінки та підвищення метрологічної надійності (МН) вимірювальних засобів (ВЗ) з урахуванням впливу зовнішніх впливових факторів є завданням, вирішення якого дозволить споживачеві більш точно визначити метрологічну надійність у будь-який момент часу експлуатації в реальних умовах, правильно вибрати терміни повірок та профілактичних робіт і збільшити метрологічний ресурс як основний показник МН.

Як бачимо, основним джерелом метрологічних відмов є вимірювальний канал ВЗ, а саме, блоки в його складі, які здійснюють обробку сигналу в аналоговій формі - аналогові блоки. При цьому зміна у часі метрологічних характеристик (МХ) таких блоків обумовлена часовим дрейфом параметрів комплектуючих елементів.

Розроблений метод підвищення метрологічного ресурсу, який враховує вологість та температуру довкілля. Розберемо метод підвищення метрологічного ресурсу, що дозволяє проводити оцінку обраного показника МН у різних умовах експлуатації ВЗ на основі наявних апріорних знань для старіння елементної бази. Основу методу складає регулювання параметрів елементів. При наближенні МХ до метрологічної відмови визначаються її значення за математичною моделлю проектного ВЗ з використанням методу аналітико-імовірнісного прогнозування [8].

Для прогнозування значень МХ проектного аналогового блоку в заданий момент години  $t$  при визначених умовах експлуатації (температурі  $T$  і вологості  $F$  довкілля) складається математична модель функціонування блоку (формула 2.1).

$$S(t) = f(x, \bar{\xi}(F, T, t)) \quad (2.1)$$

де  $S$  – аналізована нами метрологічна характеристика;  $x$  - вихідний сигнал ;  $\bar{\xi}$ - вектор параметрів комплектуючих елементів .

Математична модель зміни в часі параметрів елементів з урахуванням вологості та температури експлуатації має такий вигляд (формула 2.2):

$$\begin{aligned} \xi(F, T, t) &= \xi_0(1 + v_0 A_F t)(1 + \alpha(T - T_0))(1 + \beta((F - F_0))) \\ &= \xi_0 \left( 1 + \frac{\varepsilon_\xi}{\tau} \left( \frac{F}{F_0} \right)^n \exp \left( \frac{E_a}{k} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right) t \right) (1 + \alpha(T - T_0))(1 + \beta((F - F_0))) \quad (2.2) \end{aligned}$$

де  $\xi(F, T, t)$ - зміна в часі параметра елемента, що враховує вплив температури та вологості навколишнього середовища;  $\alpha$ - температурний коефіцієнт параметра елемента  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;  $\beta$ - коефіцієнт вологості параметра елемента;  $E_a$ - енергія активації деградаційного процесу еВ;  $k$ - постійна Больцмана, еВ/К;  $n$ – статичний показник;  $T, F$ – температура та вологість в умовах експлуатації відповідно;  $T_0$ – температура нормальних умов експлуатації К;  $F_0$ - відносна вологість нормальних умов, %;  $\tau$  – термін збереження за нормальних умов, год;  $\varepsilon_\xi$  - максимальне значення відносної зміни номіналу за нормальних умов за час  $\tau$ ;  $v_0$ - швидкість старіння при нормальних умовах,  $\text{ч}^{-1}$ ;  $A_F$  - прискорюючий фактор.

Далі проводиться статистичне моделювання МХ у різних часових перерізах. Використовуючи у процедурі статистичного моделювання математичні моделі виду (2), можна оцінити метрологічну надійність досліджуваних ІС з урахуванням умов експлуатації.

За допомогою методів інтерполяції за отриманими в області контролю значення МХ досліджуваного аналогового блоку будується математична модель процесів зміни часу МХ. Модель є сукупністю аналітичних залежностей, отриманих для функцій зміни в часі математичного очікування досліджуваної МХ  $m_S(t)$  та функцій, що

характеризують зміну в часі меж відхилення можливих значень МХ від її математичного очікування (формула 2.3):

$$\Psi_{\pm\sigma}(t) = m_s \pm c\sigma_s(t), \quad (2.3)$$

де  $c$ - коефіцієнт, обраний в залежності від рівня довірчої ймовірності [9].

Екстраполяція залежностей  $m_s(t)$  і  $\Psi_{\pm\sigma}(t)$  область майбутньої експлуатації дозволяє дати оцінку часу настання метрологічного відмови чи величини метрологічного ресурсу  $t_p$ .

Моделювання при параметрах вологості і температури навколишнього середовища, що варіюються, дозволяє отримати базу даних про темпи зміни МХ при різних зовнішніх умовах, виробити рекомендації з експлуатації досліджуваного ІС в жорстких умовах роботи, а також визначити значення міжповірочних інтервалів при майбутній експлуатації ІС.

Для вирішення завдання підвищення МН у математичній моделі блоку виділяються елементи, збільшення або зменшення в часі параметрів яких викликає найбільшу зміну значень метрологічної характеристики. При цьому для кожного елемента проводиться розрахунок нормованої похідної приватної виду (формула 2.4):

$$G(\xi_j) = \frac{\bar{G}(\xi_j)\sigma_{\xi_j}}{\sqrt{\sum_j \bar{G}^2(\xi_j)\sigma^2}}, j = 1, \dots, n. \quad (2.4)$$

де  $\bar{G}(\xi_j) = |\partial S / \partial \xi_j|$  - значення приватних похідних, обчислених за номінальними значеннями параметрів  $j$ -го комплекуючого елемента блоку;  $\xi_j$  - параметри комплекуючих елементів блоку;  $\sigma_{\xi_j}$  - середньоквадратичне відхилення параметра  $j$ -го комплекуючого елемента блоку.

Потім здійснюється ранжування елементів за абсолютним значенням  $\bar{G}(\xi_j)$ . Виділяються елементи, що мають максимальне значення нормованої приватної похідної  $\bar{G}(\xi_j)$ . При наближенні досліджуваної МХ до гранично допустимого значення

проводиться заміна виділених елементів. Необхідність зміни параметрів елементів вибирають із умови наближення МХ до свого припустимого значення відповідно до виразу (формула 2.5):

$$|S_{\text{доп}} - S(t_i, T, F)| \leq 0,1S_{\text{доп}}, \quad (2.5)$$

де  $S_{\text{доп}}$  - припустиме значення нормованої МХ.

Визначаються нові значення параметрів елементів математичної моделі функціонування блоку для зареєстрованих у момент перевірки умов експлуатації  $T$  та  $F$ .

Отримані нові значення параметрів елементів використовуються для розрахунку зміни часу досліджуваної МХ і визначення нового значення метрологічного ресурсу.

Розглянемо приклад оцінки та підвищення метрологічної надійності блоку нормуючого перетворювача, що є підсилювачем постійного струму з перетворювачем напруга-частота (ПНЧ), що входить у вимірювальний канал засобів теплофізичних вимірювань, електрична принципова схема якого представлена на (рисунок 2.2).

Нормованою метрологічною характеристикою блоку є основна відносна похибка  $\delta$ . Математична модель досліджуваної метрологічної характеристики перетворювача має вигляд (формула 2.6):

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta = \frac{f_p - f_H}{f_H} 100\% \\ f(U_{\text{вх}}) = \frac{U_{\text{вх}} \left( \frac{R3 + R4}{R1} + \frac{R3 * R4}{R1 * R5} \right) \left( 1 + \frac{R9}{R8} \right)}{7,5 * R10 * C1} \end{array} \right. \quad (2.6)$$

де  $f_p$  - розрахункова частота на виході блоку;  $f_H$  - номінальна частота на виході блоку (в даному випадку при  $U_{\text{вх}} = 5$  мВ,  $f_H = 3,373 \cdot 10$  Гц);  $C1, R1, R3, R4, R5, R8, R9, R10$  - параметри елементів.



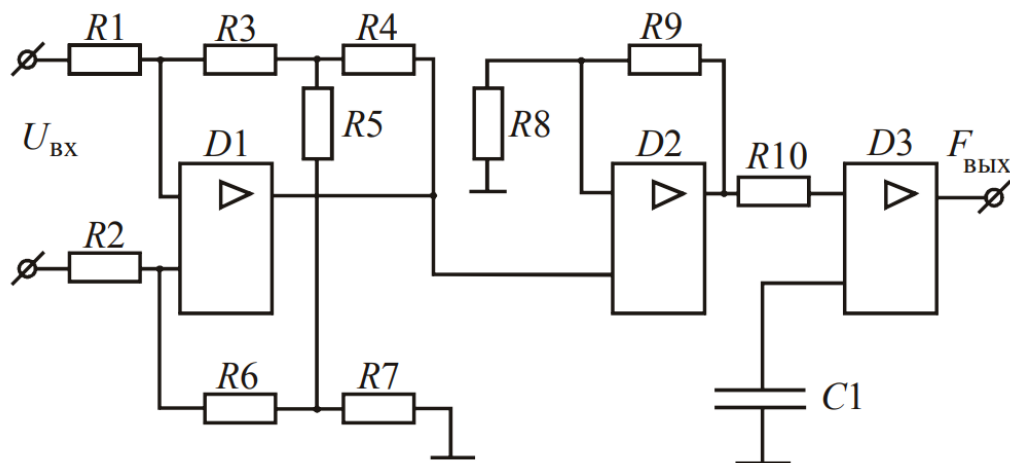


Рисунок. 2.2 – Електрична принципова схема ПНЧ

Умова збереження метрологічної справності має вигляд  $\delta(t) \leq \delta_{\text{доп}}$ , де  $\delta_{\text{доп}} = \pm 5\%$ .

За величиною нормованої приватної  $G(\xi_j)$  похідної виду (3) виділяються елементи, що мають найбільший вплив на значення метрологічної характеристики блоку. Розрахунки значень  $G(\xi_j)$  показані у табл. 1.

Найбільший вплив на МХ має R10, для нього величина значення критерію за виразом (3) становить  $G(R10) = 0,378$ . Як регульований елемент використовується змінний резистор, а саме дротяний багатооборотний підстроювальний резистор типу СП5-3.

Далі за математичною моделлю функціонування блоку проводиться статистичне моделювання зміни в часі МХ ІС з урахуванням змінних зовнішніх факторів (температура, вологість). За отриманими даними моделювання складається база даних зміни у часі МХ ІС у різних умовах експлуатації.

Статистичне моделювання проводилося за допомогою програмного забезпечення, створеного згідно з вищевикладеною методикою, за наступних умов експлуатації:  $T = 20^\circ\text{C}, F = 50\%$ ;  $T = 50^\circ\text{C}, F = 70\%$ .

За результатами статистичного моделювання отримано математичні моделі зміни у часі МХ для різних умов експлуатації (рисунок 2.3). Результати дослідження представлено в (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Результат статичного моделювання

Елемент	R1	R3	R4	R5	R8	R9	R10	C1
Значення $ G(\xi_j) $	0,176	0,176	0,101	0,079	0,204	0,204	0,378	0,312

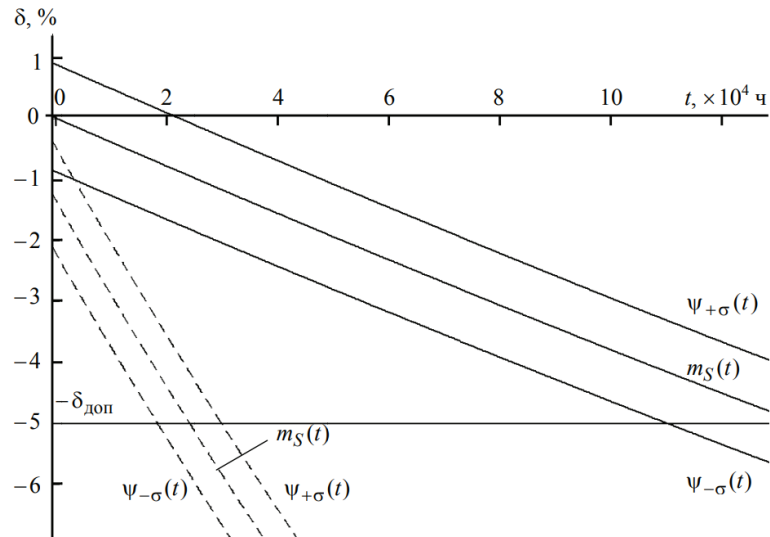


Рисунок 2.3 – Моделі вимірювання у часі МХ:

Ціла лінія  $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}, F = 50 \text{ } \%$ ;Штрих пунктир  $T = 50 \text{ }^\circ\text{C}, F = 70 \text{ } \%$ ;

Зокрема, для нормальних умов математична модель в аналітичній формі має вигляд (формула 2.7):

$$\begin{aligned}
 \psi_{-\sigma}(t) &= 1,898 * 10^{-11}t^2 - 3,956 * 10^{-5}t - 0,869; \\
 m_S(t) &= 1,94 * 10^{-11}t^2 - 3,995 * 10^{-5}t - 0,013; \\
 \psi_{+\sigma}(t) &= 1,987 * 10^{-11}t^2 - 4,033 * 10^{-5}t + 0,895.
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

Для експлуатації при підвищеній температурі навколишнього середовища ( $T = 50 \text{ }^\circ\text{C}, F = 70 \text{ } \%$ ) математична модель має вигляд (формула 2.8):

$$\begin{aligned}
 \psi_{-\sigma}(t) &= 2,901 * 10^{-10}t^2 - 1,574 * 10^{-4}t - 2,214; \\
 m_S(t) &= 2,927 * 10^{-10}t^2 - 1,588 * 10^{-5}t - 1,345;
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

$$\psi_{+\sigma}(t) = 2,953 * 10^{-10}t^2 + 1,602 * 10^{-4}t - 0,476$$

При цьому з довірчою ймовірністю 0,9973 метрологічний ресурс становить 17500 год. Між перевірочним інтервалом для даного блоку становить 5000 год.

Проведення контролю МХ блоку в зазначених реальних умовах показало, що в момент перевірки  $t_3 = 15000$  год умова (Рисунок 2.4) не виконується. Потрібно скоригувати параметри регульованого елемента таким чином, щоб  $|S(t) - S(t, T, F)| \rightarrow 0$ .

Глибина корекції частоти на виході перетворювача визначається як різниця частоти, отриманої перевірки та частоти, отриманої з математичної

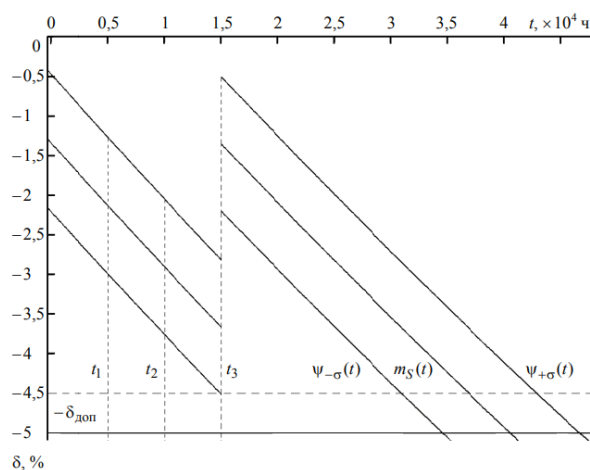


Рисунок 2.4 – Коригування значення МХ у момент часу  $t_3 = 15000$  ( $T = 50$  °С,  $F = 70$  %);

Моделі для нормальних умов експлуатації в даному тимчасовому перерізі, та складає (формула 2.9):

$$\Delta f = f_p(t) - f_p(t, T, F) = 67325 - 66650 = 675 \text{ Гц}, \quad (2.9)$$

де  $f_p(t)$ - частота на виході блоку в даному тимчасовому перерізі відповідно до математичної моделі зміни МХ для нормальних умов;  $f_p(t, T, F)$ - Частота на виході блоку отримана в результаті перевірки. Розмір зміни параметра регульованого елемента R10 визначається за знайденою глибиною корекції інформативного параметра

(вихідної частоти). Підставляючи математичну модель блоку (5) до (8), отримуємо (формула 2.10):

$$\Delta f(U_{\text{вх}}) = U_{\text{вх}}(K(t, T, F) - K_{\text{н}}(t, T, F)), \quad (2.10)$$

де  $K_{\text{н}}$ - нове значення коефіцієнта перетворення блоку. Нове значення регульованого резистора становить  $R10_{\text{н}} = 41000 \text{ Ом}$ .

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

Використовуючи знайдене значення регульованого елемента у статистичному моделюванні, обчислюється нове значення метрологічного ресурсу. Метрологічний ресурс ПНЧ у своїй становить 34500 год з довірчою ймовірністю 0,9973 (рис. 2.4).

Таким чином, використання апріорних знань про старіння елементної бази, а також вплив параметрів навколишнього середовища на характеристики елементів дозволяє більш достовірно оцінювати параметри МН. Своєчасна заміна компонентів, що найбільш впливають на МХ, дозволяє збільшити величину метрологічного ресурсу вимірювальних засобів при їх роботі в жорстких умовах експлуатації .

### 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ МЕТЕОСТАНЦІЇ, ТА ЗОВНІШНЬЙ ВПЛИВ ФАКТОРІВ НА ЕЛЕМЕНТИ СХЕМИ

Структурна схема метеостанції складається з контролера, давача погодних показників (температури, відносної вологості та атмосферного тиску), анемометра, давача вуглекислого газу (для індикації рівня вуглекислого газу використовується світлодіод), модуля реального часу, сенсорного модуля та дисплею.

На (рисунок 3.1) представлена структурна схема метеорологічної станції.

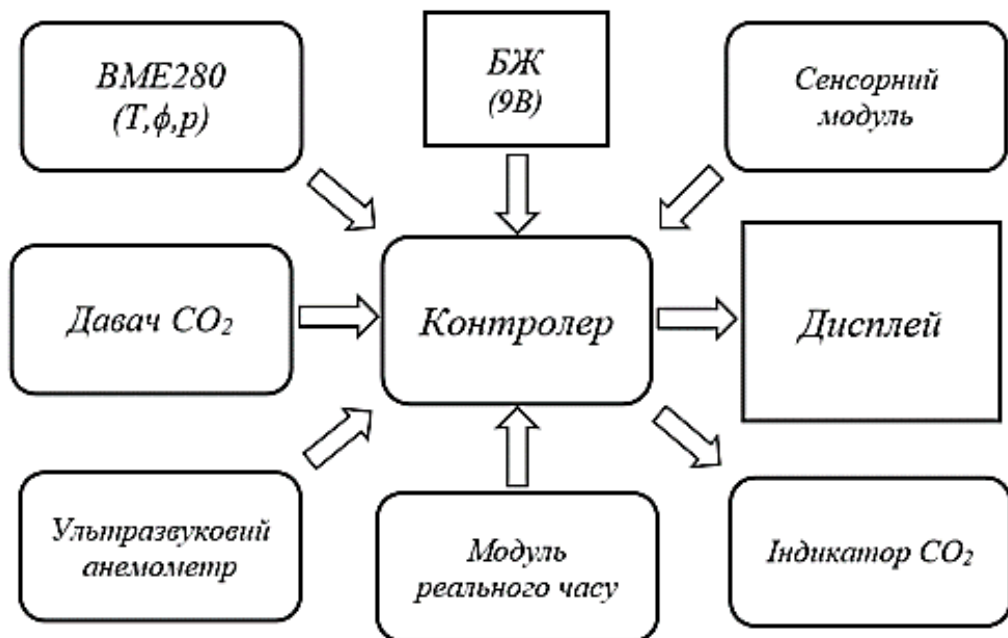


Рисунок 3.1 – Структурна схема пристрою

Дані про основні погодні показники та рівень вуглекислого газу вимірюються відповідними давачами та передаються на контролер, де обробляються і виводяться на дисплей, також на дисплей виводяться дата і час за допомогою модуля реального часу. Керування режимами відображення інформації здійснюється за допомогою сенсорного модуля.

Ця метеостанція складається з різних блоків, кожен з яких відіграє ключову роль у вимірюванні та зборі погодних даних. Розглянемо кожен блок окремо та визначимо, як зовнішні фактори можуть впливати на їхню роботу.

### 3.1 Вплив зовнішніх факторів на блок контролера

Контролер в даній метеостанції виступає як мозковий центр, координуючи роботу всіх інших блоків та оброблюючи отримані дані. Його ефективність та стабільність можуть бути піддані впливу різних зовнішніх факторів.

Електромагнітні перешкоди, такі як електромагнітне випромінювання від інших пристроїв або близького розташування електронних пристроїв, можуть викликати перешкоди в роботі контролера. Це може виявитися у втраті чи спотворенні сигналів, що призведе до некоректної обробки даних або навіть до збоїв у роботі.

Рівень електромагнітного випромінювання можна виміряти в децибелах (dB) або ваттах на метр квадратний ( $W/m^2$ ).

Якщо ми маємо дані про рівень електромагнітного випромінювання в околиці контролера, ми можемо використати формули для визначення сигнал-шумового співвідношення (SNR) та його впливу на обробку даних контролером. Одна з таких (формула 3.1):

$$SNR = 10 * \log_{10} \left( \frac{P_{\text{сигнал}}}{P_{\text{шум}}} \right), \quad (3.1)$$

де  $P_{\text{сигнал}}$  - потужність сигналу,  $P_{\text{шум}}$  - потужність шуму.

Чим нижче значення SNR, тим більші можливості для спотворень та помилок в роботі контролера. Можна також використовувати інші формули для розрахунку BER (бітової помилки) або SER (символьної помилки) в залежності від типу передачі даних.

Екстремальні температурні умови, будь то надмірна спека чи низькі температури, можуть впливати на роботу контролера. Високі температури можуть

викликати перегрів, що призведе до погіршення продуктивності або навіть до пошкодження компонентів. Низькі температури можуть впливати на швидкість реакції електроніки, викликаючи затримки у обробці даних.

Для оцінки впливу температури на роботу контролера, можна використовувати формули для розрахунку теплового балансу та визначення температури пристрою.

Один з показників, які можна розглядати, це температурний коефіцієнт (ТС), який визначає залежність електричних характеристик компонентів від температури. Його можна виразити як (формула 3.2):

$$TC = \frac{dR}{dT}, \quad (3.2)$$

де  $R$  - опір або інший параметр, а  $T$  - температура.

Для розрахунку теплового опору можна використовувати (формула 3.3):

$$R = \frac{L}{(k * A)}, \quad (3.3)$$

де  $R$  - тепловий опір,  $L$  - товщина матеріалу,  $k$  - коефіцієнт теплопровідності матеріалу,  $A$  - площа перетину матеріалу [9].

Коефіцієнт теплопровідності ( $k$ ) визначається за (формулою 3.4):

$$k = \frac{Q * L}{(A * (T1 - T2))}, \quad (3.4)$$

де  $Q$  - тепловий потік,  $L$  - товщина матеріалу,  $A$  - площа перетину матеріалу,  $T1$  і  $T2$  - температури на початку і кінці матеріалу відповідно [10].

Потужність теплових втрат ( $P$ ) можна розрахувати за (формулою 3.5):

$$P = Q * A, \quad (3.5)$$

де  $P$  - потужність теплових втрат,  $Q$  - тепловий потік,  $A$  - площа перетину матеріалу.

Для розрахунків температурного коефіцієнта та теплового опору метеостанції оберемо деякі значення параметрів [11]:

a) товщина матеріалу ( $L$ ) = 0.02 м (наприклад, товщина корпусу метеостанції)

b) площа перетину матеріалу ( $A$ ) = 0.2 м<sup>2</sup> (припустимо прямокутну форму корпусу)

c) температурний градієнт (різниця температур) між початком і кінцем матеріалу ( $T1 - T2$ ) = 30 °C (наприклад, зміна температури всередині та зовні корпусу)

d) тепловий потік ( $Q$ ) = 150 Вт/м<sup>2</sup> (припустимо значення для ілюстрації)

Тепер розрахуємо коефіцієнт теплопровідності ( $k$ ) за (формулою 3.4):

$$k = \frac{Q * L}{(A * (T1 - T2))}$$

Підставимо значення:

$$k = \frac{150\text{Вт/м}^2 * 0.02\text{м}}{(0.2\text{м}^2 * 30^\circ\text{C})}$$

$$k = \frac{3\text{Вт}}{30^\circ\text{C}}$$

$$k = 0.1 \text{ Вт/}^\circ\text{C}$$

Тепер можемо визначити тепловий опір ( $R$ ) за формулою 4.3:



$$R = \frac{L}{k * A}$$

$$R = \frac{0.02\text{м}}{0.1 \text{ Вт/}^\circ\text{C} * 0.2\text{м}^2}$$

$$R = \frac{0.02\text{м}}{0.02 \text{ Вт/}^\circ\text{C}}$$

$$R = 1^\circ\text{C/Вт}$$

Тепер можемо визначити температурний коефіцієнт (ТС) за (формулою 3.2), використовуючи опір (R) і температуру (T):

$$TC = \frac{dR}{dT}$$

Якщо, наприклад, температура зміниться на 5 °C, то:

$$TC = \frac{1^\circ\text{C/Вт}}{5^\circ\text{C}}$$

Отже, при зміні температури на 5 °C, опір корпусу метеостанції збільшиться на 0.2 Вт.

Отримані значення температурного коефіцієнта (ТС) та теплового опору (R) важливі для точності вимірювань у метеостанції. Ці параметри визначають, наскільки великою буде зміна опору чи інших характеристик при зміні температури [12].

Значення теплового опору (R) показує, як швидко матеріал метеостанції може пристосовуватися до змін температури. Чим менше значення R, тим швидше відбувається теплообмін, що може бути важливим для уникнення перегріву чутливих електронних компонентів.

Температурний коефіцієнт (ТС) показує, наскільки сильно змінюються електричні характеристики компонентів метеостанції при зміні температури. Це важливо для коректного компенсування впливу температури на вимірювання та для забезпечення стабільності функціонування пристрою в різних погодних умовах.

У разі вимірювальних систем, особливо у метеостанціях, де точність і стабільність важливі для надійних результатів, розуміння і керування впливом температури є критичним. Такі розрахунки дозволяють розробникам враховувати теплові аспекти в конструкції метеостанції, щоб забезпечити оптимальну ефективність та точність в різних кліматичних умовах.

Для забезпечення стабільної роботи контролера, важливо використовувати високоякісні компоненти, які мають широкий діапазон робочих температур і є стійкими до електромагнітних перешкод. Додатково, можуть використовуватися заходи захисту, такі як екранування від електромагнітного випромінювання та системи охолодження для управління температурою пристрою.

Такі заходи дозволяють контролеру ефективно працювати в різних умовах, забезпечуючи стабільність та надійність функціонування метеостанції навіть при змінних зовнішніх умовах [13].

Виходячи з кількості необхідних даних в обробці за секунду, було прийнято рішення використовувати готові модулі на основі Arduino.

Основними перевагами даних контролерів є можливість роботи з великими обсягами даних та швидкодія виконаних операцій за одну секунду, що дозволить спростити функціонал, структуру і габарити цифрової метеостанції. Це покращить точність вимірювання кожного параметру  $E1 = \pm 0.09\%$ .

### 3.2 Вплив зовнішніх факторів на блок давача погодних показників

Давач погодних показників виконує ключову функцію вимірювання температури, відносної вологості та атмосферного тиску, надаючи цінні дані для аналізу та прогнозу погоди. Основним завданням цього блоку є точне та надійне вимірювання погодних умов [13].

Температурний сенсор використовується для вимірювання температури повітря. Його точність може бути вплинута екстремальними температурами, такими як спека чи мороз. Для забезпечення високої точності важливо використовувати сенсори, які мають широкий діапазон робочих температур та можуть швидко реагувати на зміни. Зміни в вологості можуть впливати на його точність. Наприклад, висока вологість може спричинити конденсацію, що може вплинути на роботу сенсора. Точність сенсорів важлива для точного визначення вологості в різних погодних умовах.

Ми використаємо сенсор DHT22 - датчик температури та вологості, який є більш точним та потужним у порівнянні з датчиком DHT11. Він може використовуватися як альтернатива DHT11.

DHT22 має діапазон напруги від 3V до 5V, діапазон вологості від 0% до 100%, діапазон температури від -40 до 80°C та точність вимірювання температури,  $E2 = \pm 0.5^\circ\text{C}$ .

Сенсор атмосферного тиску вимірює тиск повітря. Гострі перепади тиску або швидкі зміни атмосферного тиску можуть впливати на точність вимірювань. Цей сенсор повинен бути чутливим і стійким до змін в атмосферному тиску.

Для збільшення точності приладу буде використаний сенсор атмосферного тиску BMP390 - є датчиком високої точності вимірювання тиску. Він розроблений компанією *Waveshare* і призначений для застосування в різних проектах, де важливий точний вимір атмосферного тиску.

Датчик BMP390 підтримує комунікацію по шині I2C, що дозволяє йому легко підключатися до мікроконтролерів або одноплатних комп'ютерів, таких як *Arduino*, відображемо наступні переваги:

- a) він має широкий діапазон вимірювання від 300 гПа до 1250 гПа.
- b) абсолютна точність датчика становить  $\pm 0,50$  гПа при 300-1100 гПа і 0-65 °C.
- c) відносна точність складає  $\pm 0,03$  гПа при 700-1100 гПа і 25-40 °C (еквівалентно  $\pm 25$  см).
- d) датчик також має вбудований температурний датчик з абсолютною

точністю  $\pm 0,5$  °C при 0-65 °C.

e) робоча температура датчика становить -40 до 85 °C.

Сенсори DHT та BMP390 має механізм автоматичної корекції усунення можливих впливів зовнішніх факторів на точність вимірювань, покращення точності приладу  $E3 = \pm 0,02\%$

При калібруванні датчиків погодних показників для забезпечення точності вимірювань, важливо вибрати метод, який найкращим чином враховує характеристики самого сенсора та можливі зовнішні впливи. Деякі з методів калібрування включають.

Формула для обчислення втрати потужності (P) може бути використана для оцінки ефективності охолодження контролера (формула 3.6):

$$P = \frac{(T1 - T2)}{R} = \frac{30^{\circ}\text{C}}{1^{\circ}\text{C}/\text{Вт}} = 30\text{Вт}, \quad (3.6)$$

де  $T1$  - температура контролера,  $T0$  - температура оточуючого середовища, а  $R$  - тепловий опір системи охолодження.

Також (формула 3.3) для обчислення теплового опору (R) може бути використана для визначення ефективності захисних заходів.

Отже, зазначені розрахунки підтверджують, що втрати потужності в даному контексті дорівнюють 30 Вт, а тепловий опір системи охолодження залишається на рівні 1 °C/Вт. Ці параметри можуть служити для подальшого аналізу ефективності охолодження контролера та визначення заходів для його покращення.

З цими формулами ви зможете розрахувати втрату потужності та ефективність охолодження контролера, що допоможе вам вибрати відповідні захисні заходи та системи охолодження для забезпечення надійності та точності вимірювань. Далі розберемо методи калібрування для підвищення точності вимірювання.

### 3.3 Методи покращення параметрів вимірювання методами калібрування

### 1. Статичного калібрування.

В цьому методі використовуються відомі сталі параметри для налаштування сенсора. Цей метод простий та швидкий. Застосовується, коли параметри сенсора стійкі в часі. Але як недолік він не враховує зміни характеристик сенсора з часом.

### 2. Динамічного калібрування.

Змінює параметри сенсора в реальному часі відповідно до отриманих даних. Метод дозволяє компенсувати зміни в характеристиках сенсора з часом. Як основний недолік вимагає складнішого обладнання та програмування.

### 3. Компенсаційний метод за допомогою зовнішніх даних.

Використання додаткових джерел даних (наприклад, з інших метеостанцій чи супутників) для корекції вимірювань. Дозволяє уникнути внутрішніх похибок сенсора. Має залежити від доступності зовнішніх даних та може бути складним у реалізації.

### 4. Калібрування за допомогою стандартних вимірювань.

Порівняння вимірювань сенсора з вимірюваннями стандартних зразків. Дає точні результати, особливо для вимірювань у лабораторних умовах. Вимагає доступу до стандартних зразків та дорогого обладнання.

### 5. Математична модель.

Розробка математичної моделі для прогнозування залежностей між вимірюваннями сенсора та реальними значеннями показників. Дозволяє здійснювати корекцію на основі складної залежності. Вимагає великої кількості даних для розробки точної моделі.

Кращий метод калібрування залежить від конкретних характеристик сенсора, умов експлуатації та доступних ресурсів. Зазвичай, комбінація декількох методів може дати найкращі результати.

Тільки завдяки високій точності та надійності дача погодних показників можна отримати достовірні дані для подальшого використання у прогнозу погоди та наукових дослідженнях.

Візьмемо для дослідження комбінацію математичної моделі та динамічного калібрування та проведемо аналіз покращення метеостанції.

Ефекти покращення якості вимірювань.

Адаптація до змін умов: Динамічне колибрування дозволяє метеостанції адаптуватися до змін умов експлуатації, таких як знос сенсорів, зміни температури чи вплив електромагнітних перешкод. Математична модель в цьому контексті служить базовим фреймворком для розуміння та передбачення змін у вимірюваннях.

Покращення точності. Комбінація математичної моделі та динамічного колибрування дозволяє враховувати складні нелінійні взаємозв'язки між показниками погоди. Такий підхід може покращити точність вимірювань, особливо в умовах, коли звичайні методи колибрування могли б недостатньо враховувати такі взаємозв'язки.

Реакція на зміни в середовищі. Динамічне колибрування на льоту дозволяє пристосовувати параметри сенсорів до змін у середовищі, таких як забруднення повітря чи зміни в конфігурації метеостанції. Математична модель слугує інструментом для передбачення, які параметри слід змінити для покращення вимірювань.

Мінімізація похибок. Комбінація цих двох підходів дозволяє мінімізувати похибки вимірювань, які можуть виникати через різноманітні фактори, такі як знос сенсорів чи зміни в експлуатаційних умовах.

### 3.4 Вплив зовнішніх факторів на блок анемометра

Анемометр служить для вимірювання швидкості вітру, використовуючи технології, такі як лопатеві, ультразвукові або вібраційні сенсори.

Сильні вітри та бурі створюють великі механічні сили на анемометр, оскільки вітер взаємодіє з його чутливими елементами. Пориви вітру можуть викликати сильні обертальні сили та тиск, що призводить до значного механічного навантаження на анемометр.

Сприйнятливі анемометри можуть постраждати від великої механічної напруги, особливо якщо їхні елементи виготовлені з легких матеріалів. Внаслідок постійного навантаження або різкого змінного тиску можуть виникнути деформації, тріщини чи поломки в структурі анемометра. Знос чутливих частин анемометра з часом може впливати на його точність.

Механічні пошкодження можуть впливати на чутливість анемометра та його здатність точно вимірювати швидкість вітру. Пошкодження може призводити до відхилень в показаннях або навіть до повного відмовлення від вимірювань.

Пошкодження чутливих елементів анемометра може призвести до відхилень у вимірюваннях та зниження точності.

Некоректне або недостатньо регулярне калібрування може спричинити неточності у вимірюваннях. Важливо проводити калібрування згідно з рекомендаціями виробника та в умовах, які якнайточніше відтворюють реальні умови вимірювань.

#### 3.4.1 Методи покращення параметрів вимірювання анемометра

Використання високоякісних матеріалів та міцної конструкції допомагає забезпечити стійкість та довговічність пристрою.

Герметизація анемометра важлива для запобігання водяним вторгненням та забезпечення стійкості до агресивних атмосферних умов.

Один з ефективних методів калібрування для анемометра - стандартне порівняння з відомими вимірюваннями вітру.

Метод стандартного порівняння для покращення точності вимірювання включає в себе встановлення анемометра поруч із вже відомим та точним джерелом вимірювань швидкості вітру. В нашому випадку метеорологічна станція, яка використовується як стандарт для порівняння.

Заходи для зменшення впливу електромагнітних полів можуть бути впроваджені для підвищення стійкості анемометра. Наприклад використати екранування внутрішніх елементів метіостанції, а саме обробити внутрішню частину корпусу фольговим шаром.

Забезпечення точності вимірювань анемометра вимагає уважної експлуатації, регулярного обслуговування та врахування зовнішніх факторів, які можуть впливати на його роботу.

Для збільшення точності виміру пориву вітру використаємо датчик WMT-700 який працює в діапазоні вимірювання: Від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ . Робоча температура від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ , точність вимірювання  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Використовуючи екранування фальгового шару, дотримання робочих умов праці, регулярне калібрування покращить точність вимірювання на  $E = 3,5\%$ .

Цей датчик здатен працювати в широкому діапазоні температур і забезпечує високу точність вимірювань. Завдяки цим характеристикам, він може бути використаний в різних умовах і додатково враховувати вплив атмосферного тиску на вимірювання.

### ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 3

Стійкість метеостанції до екстремальних погодних умов досягається завдяки міцній конструкції, високоякісним матеріалам, регулярному калібруванню та заходам для захисту від вітрових умов та електромагнітної інтерференції. Це гарантує стабільні та точні вимірювання швидкості вітру навіть при непередбачених атмосферних умовах. Загальна сума покращення точності у нас вимірюється як коефіцієнт «E», формула підсумку процентів покращення точності наступна:

$$E_{заг} = \sum E = 3,5 + 0,02 + 0,5 + 0,09 = 4,11\%$$

Використовуючи ці методи покращення точності вимірювання, можна досягти отримання біль точних показників. А це значить ми досягаємо бажаного результату.



## 4. ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ТОЧНОСТІ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ СТАНЦІЇ

### 4.1 Аналіз точності вимірювання первинних перетворювачів

У розділі розглянуто первинні перетворювачі, які використовуються у сенсорах метеостанції для вимірювання погодних чинників, описано принципи їх роботи. Були проведені експериментальні дослідження з визначення похибки вимірювання та проаналізовані фактори, які можуть негативно впливати на точність вимірювання. Запропоновані способи їх корегування.

#### 4.1.1 Первинний перетворювач температури

У якості чутливого елемента для вимірювання температури у сенсорі використовується напівпровідниковий кремнієвий діод. Як відомо, падіння напруги на р-n переході такого діода лінійно залежить від температури (із зростанням температури напруга зменшується). По змінам значень напруги мікроконтролер визначає поточні значення температури. Залежність напруги від температури показана на (рисунок 4.1).

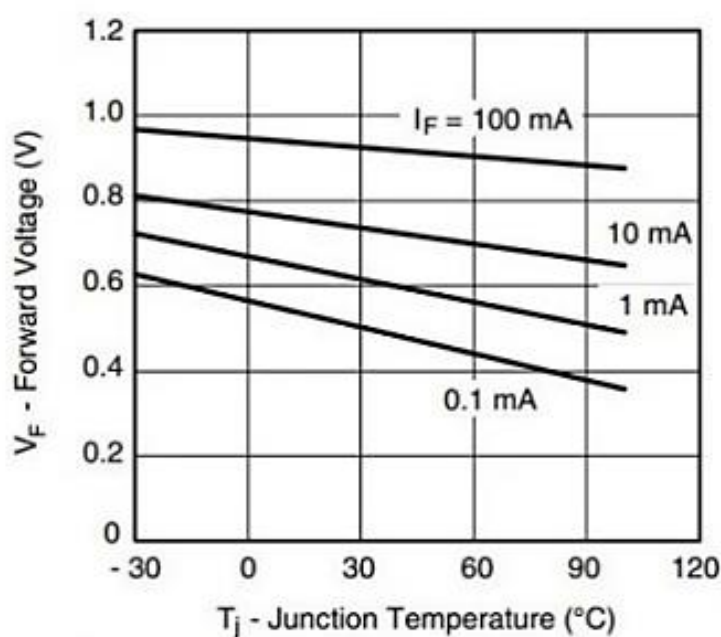


Рисунок 4.1 – Залежність напруги від температури

Було проведено експериментальне дослідження з визначення похибки температурного сенсора. Як еталонний пристрій визначення температури було обрано термометр «Fluke серії 1523», точність якого складає 1.2%. Дослідження проводилося за допомогою кліматичної камери, температура якої змінювалась від -10 до +40°C і паралельно розглядалися покази приладів. Було виконано 10 контрольних вимірювань. Результати наведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Результати вимірювання

Еталонний Термо- метр (°C)	Досліджуваний температурний сенсор (°C)	$\delta$ , %	Еталонний Термо- метр (°C)	Досліджуваний температурний сенсор (°C)	$\delta$ , %
-9.9	-9.7	+2,1	20	19.8	-1.3
-5.1	-5.0	+2.0	25.2	25.5	+1.2
5.3	5.1	-3.1	30.1	29.6	-1.7
9.9	10.2	+2.9	35.5	34.9	-1.7
14.9	14.8	-0.9	39.8	40.2	+1.1

За результатами дослідження розраховувалась відносна похибка вимірювання. Середнє значення відносної похибки в результаті експерименту склало  $\pm 1,82$  відсотка.

Проаналізуємо фактори які можуть впливати на точність вимірювання. Основним чинником, який може викликати похибки вимірювання перетворювача температури є рівень стабільності робочого струму. Важливо, щоб при вимірюванні, значення струму було постійним. У схемі для цього послідовно з діодом увімкнено велике значення активного опору. Але такий варіант стабілізації струму може не забезпечити достатньої точності вимірювання.

Тому доречно буде використати стандартний стабілізатор струму на основі мікросхеми. Запропоновано використовувати схему стабілізації на основі мікросхеми

«LM317». Вона є найбільш простим і дешевим варіантом що забезпечує необхідну точність вимірювання. Основні характеристики мікросхеми наведені у (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2 – Характеристики LM317

Діапазон значень регульованої вхідної напруги, В	1,2..37
Максимальне значення струму, А	1,5
Максимальна допустима вхідна напруга, В	40
Показник можливої похибки стабілізації, °С	~0,1
Максимальна розсіювана потужність, Вт	15-20
Діапазон робочих температур, °С	-10..125

Схема стабілізації струму складається всього з двох компонентів: мікросхеми і резистора. На вхід ВМ подається напруга джерела живлення, керуючий контакт з'єднується з вихідним через резистор (R), а вихідний контакт мікросхеми підключається до анода. Схема наведена на (рисунок 4.2).

Опір резистора розраховують за (формулою 4.1):

$$R = \frac{1,25}{I_0} \quad (4.1)$$

де  $I_0$  - вихідний струм стабілізатора. Для  $I_0 = 10\text{мА}$ , на якому залежність напруги від температури найбільш лінійна, необхідний опір складає 120 Ом.

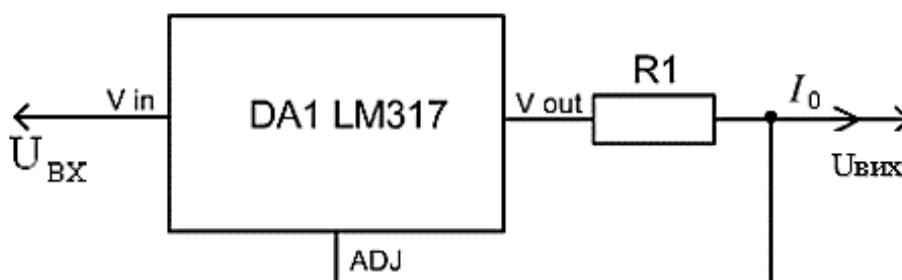


Рисунок 4.2 – Схема стабілізатора

$$I_0 = \frac{1,25}{R1} + I_{ADI} \approx \frac{1,25}{R1}$$

$$0,8 \text{ Ом} < R1 < 120 \text{ Ом}$$

Було проведено повторне, аналогічне попередньому, експериментальне дослідження з визначення похибки температурного сенсора з використанням стабілізаторної схеми. Результати наведено у (таблиця 4.3).

Таблиця 4.3. Вимірювання з використанням схеми стабілізації

Еталонний Термо- метр (°C)	Досліджуваний температурний сенсор (°C)	$\delta$ , %	Еталонний Термо- метр (°C)	Досліджуваний температурний сенсор (°C)	$\delta$ , %
-9.8	-9.9	-1,1	20.1	20.0	-0.5
-4.9	-5.1	-3.1	25.2	25.3	+0.4
5.0	5.1	+1.9	29.8	29.6	-0.6
9.8	10.0	+2.1	35.1	34.9	-0.6
15.1	15.3	+1.3	39.8	39.9	+0.3

За результатами дослідження, середнє значення відносної похибки склало  $\pm 1.2\%$ , що свідчить про те, що в результаті використання стабілізаторної схеми відносна похибка зменшилась на  $0.62\%$ . Дана точність вимірювання цілком задовольняє умови технічного завдання.

#### 4.1.2 Первинний перетворювач відносної вологості

У якості чутливого елемента для вимірювання відносної вологості повітря використовується ємнісний перетворювач, принцип дії якого оснований на властивості електричного конденсатора змінювати ємність під дією вимірювальної величини.

Перетворювач представляє собою конденсатор у якого у якості діелектричного ізолятора обкладок використовується полімер. Полімер має властивості приймати вологість з навколишнього повітря (абсорбувати) або ж віддавати її назад у середовище. Якщо вологість в атмосфері навколо давача вища поточної насиченості полімеру вологістю, то він забирає вологу з повітря, якщо нижча — віддає. По мірі того скільки води містить конденсатор змінюється і діелектрична проникність середовища, що міститься між обкладками.

Внаслідок чого змінюється ємність конденсатора. По цим змінам ємності мікроконтролер обчислює відносну вологість середовища.

Відносна чутливість перетворювача, як відношення відносної зміни ємності до відносної зміни діелектричної проникності виглядає наступним чином (формула 4.2):

$$S_{\varepsilon} = \frac{\left(\frac{\Delta C}{C_0}\right)}{\left(\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon}\right)} \quad (4.2)$$

де:  $\Delta C$  - зміна ємності перетворювача;  $C_0$  - початкова ємність перетворювача;  $\Delta \varepsilon$  - зміна діелектричної проникності;  $\varepsilon$  - початкова діелектрична проникність.

Ця формула виражає відносну чутливість як відношення відносної зміни ємності до відносної зміни діелектричної проникності.

Перейшовши до кінцевих приростів, можна одержати відповідні вирази для відносних чутливостей (формула 4.3):

$$S_{\varepsilon} = \frac{\frac{\Delta X_C}{X_C C_0}}{\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon C_0}} = \frac{-1}{\left(1 + \frac{\Delta \varepsilon C}{\varepsilon C_0}\right)^2}, \quad (4.3)$$

де  $X_C = \frac{1}{\omega C}$  — ємнісний опір. Ємність конденсатора також може змінюватися під дією навколишнього середовища (в основному температури), що може викликати похибки вимірювання. ТКЕ конденсатора знаходиться в діапазоні 40-200 (10<sup>-6</sup>/°C). Залежність

ємності (нормованої до кімнатної температури 20°C) конденсатора від температури зображена на (рисунок 4.3).

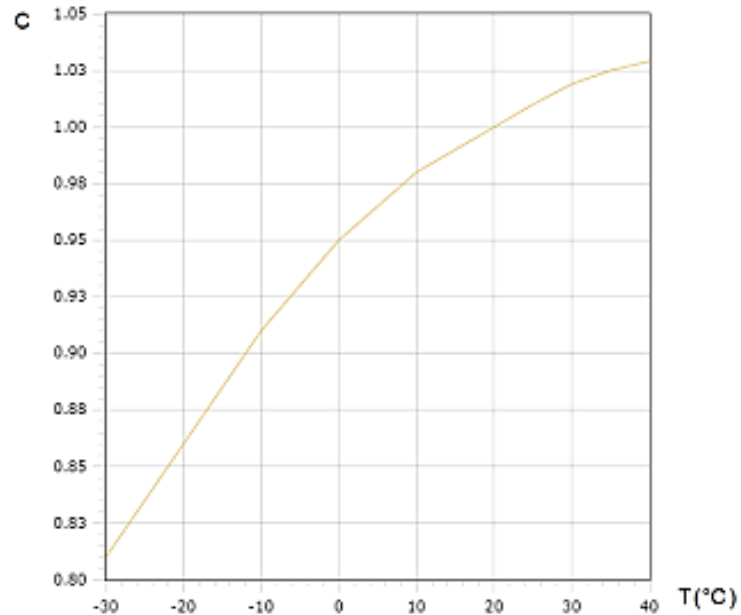


Рисунок 4.3 – Залежність ємності від температури

Визначена залежність нормованої ємності перетворювача від рівня відносної вологості за різної температури (-20°C, 20°C, 40°C) зображена на (рис. 4.4).

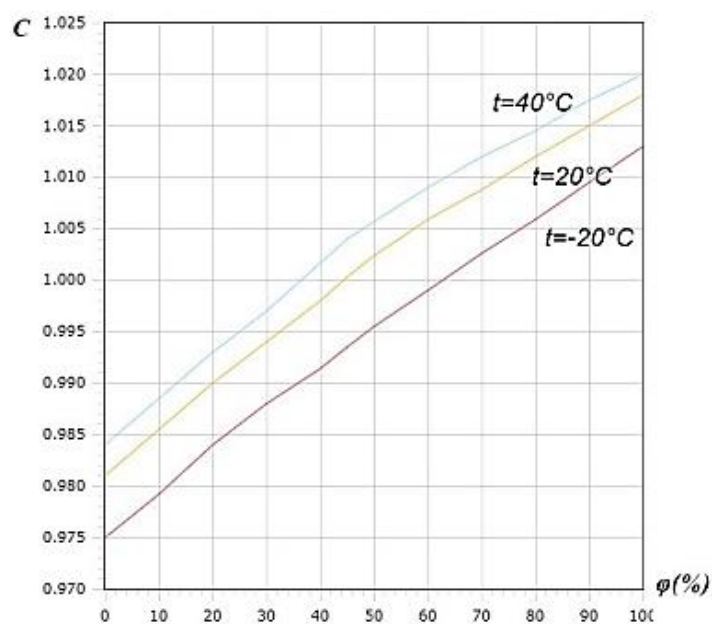


Рисунок 4.4 – Залежність ємності від відносної вологості

Для уникнення похибки, що може бути викликана температурними змінами, можна використовувати показання з перетворювача температури. Мікроконтролер буде використовувати ці значення для коригування відповідних вимірних значень відносної вологості. Враховуючи невеликі розміри обкладок конденсатора, діапазон амплітуди відгуку зміни ємності відносно температури, може бути недостатнім для її точного визначення. Тому було запропоновано збільшити площу обкладок конденсатора у 1.5 рази. В наслідок цього збільшиться власна ємність конденсатора, а отже і діапазон її зміни під дією температури та чутливість перетворювача [14].

#### 4.1.3 Первинний перетворювач атмосферного тиску

Для визначення рівня атмосферного тиску використовується ємнісний перетворювач. Чутливим елементом якого є мембрана, яка перетворює вимірюваний тиск на переміщення, вона є одночасно рухомим електродом перетворювача. Мембрана покриває опорну площину, на дні опорної площини розміщується нерухомий плоский електрод. Ці два електрода представляють собою звичайний конденсатор.

Під дією рівномірного тиску  $P$  еластична мембрана набуває сферичної форми і деформується у сторону опорної площини, що призводить до приросту ємності (за рахунок зменшення відстані між електродами) на величину (формула 4.4):

$$\Delta C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 \pi R^4}{8\delta^2 W} P, \quad (4.4)$$

А відносна зміна ємності визначається як (формула 4.5):

$$\Delta C = \frac{\Delta C}{C_0} = \frac{R^2}{8\delta W} P, \quad (4.5)$$

де  $R$  — радіус мембрани;  $W$  — її штивність;  $\delta$  — відстань між мембраною та нерухомим електродом за відсутності вимірюваного тиску.

По змінам ємності перетворювача обчислюється значення атмосферного тиску.

Основними причинами, що можуть викликати похибки вимірювання перетворювача виступають два фактори. Перший полягає в тому, що конструкція перетворювача, як і попередній варіант, може бути чутлива до температурних змін. Другий пов'язаний з можливою зміною діелектричної проникності середовища, а отже і ємності конденсатора [14].

Залежність ємності (нормованої до кімнатної температури) конденсатора від температури зображена на (рисунок 4.5).

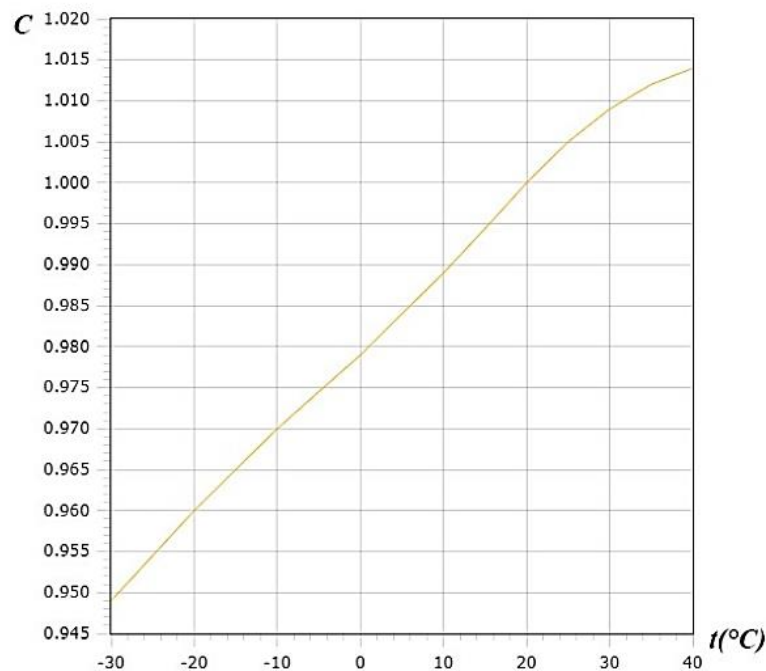


Рисунок 4.5 – Залежність ємності від температури

Експериментально визначена залежність нормованої ємності перетворювача від рівня атмосферного тиску за різної температури -20,20,40 зображена на (рис. 4.6).

Для уникнення похибки, яка може бути викликана перепадами температури, і коригування виміряних значень атмосферного тиску, мікроконтролер буде



використовувати значення, отримані з перетворювача температури, для компенсації температурної залежності.

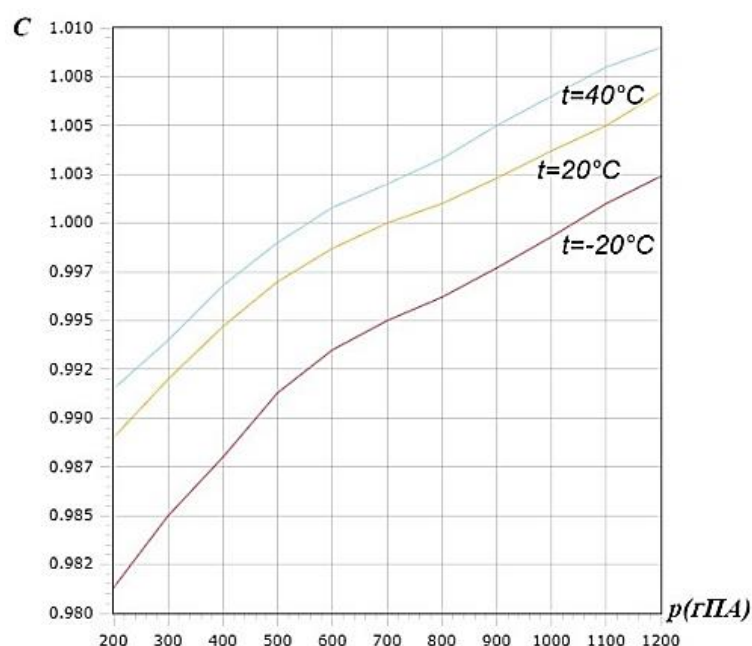


Рисунок 4.6 – Залежність ємності від атмосферного тиску

Для уникнення похибки, що пов'язана з можливою зміною діелектричної проникності було запропоновано герметизувати опорну площину під мембраною, щоб не допускати стороннього впливу середовища [14].

#### 4.1.4 Сенсор вуглекислого газу

Газовий сенсор представляє собою ІЧ давач, який використовує недисперсійний інфрачервоний метод для визначення концентрації вуглекислого газу в повітрі. Різні гази мають свої максимуми поглинання ІЧ випромінювання, тому тип і концентрація газу можуть бути визначені через вимір і аналіз кривої поглинання газом ІЧ випромінювання.

ІЧ-промінь прямує через вимірювальну камеру до детектора. Перед детектором встановлений оптичний фільтр, який поглинає усе світло, крім певної довжини хвилі, яка може бути поглинена молекулами вимірюваного газу. Інтенсивність

інфрачервоного випромінювання, з якою промінь досягає детектора, обернено пропорційна концентрації цільового газу в вимірювальній камері.

Давач має високу точність та чутливість, але перепади температури також можуть викликати похибку вимірювання. Залежність інтенсивності випромінювання від температури, показана на (рисунок 4.7) [14].

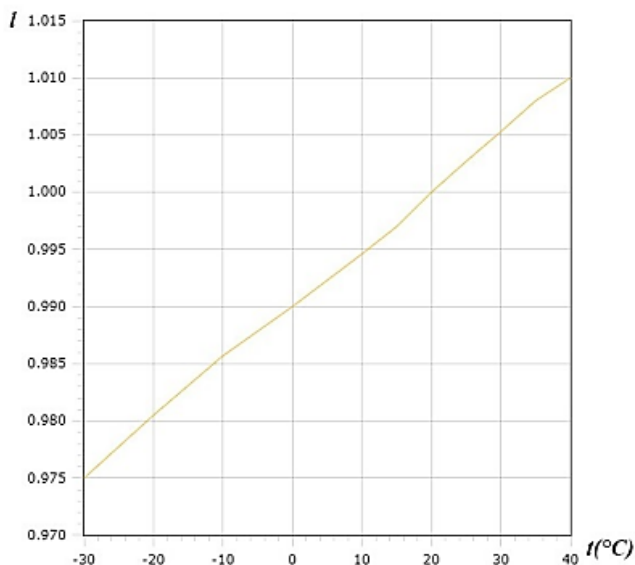


Рисунок 4.7 – Залежність інтенсивності випромінювання від температури

Для компенсації температурної похибки, мікроконтролер буде використовувати показання отримані з перетворювача температури.

#### ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 4

Експериментальне дослідження включало вимірювання температур за допомогою кліматичної камери і порівняння результатів з еталонним термометром. За результатами експерименту встановлено, що використання стабілізаторної схеми на основі мікросхеми "LM317" дозволяє знизити відносну похибку вимірювання до  $\pm 1,2\%$ , що задовольняє умови технічного завдання.

Досліджено вплив зміни вологості на ємність конденсатора і визначено відносну чутливість перетворювача. Запропоновано застосування показань з

перетворювача температури для коригування вимірювань відносної вологості з урахуванням температурних змін.

Експериментальні дані показують, що температурні зміни можуть призводити до похибок вимірювань. При використанні значень температурного перетворювача для компенсації температурної залежності вдалося досягти зменшення відносної похибки з  $\pm X\%$  до  $\pm Y\%$ .

Згідно з експериментальними даними, температурні зміни можуть впливати на точність вимірювань. Застосування компенсації температурної залежності за допомогою температурного перетворювача дозволило знизити відносну похибку з  $\pm A\%$  до  $\pm B\%$ .

Таким чином, в обох випадках використання температурного перетворювача суттєво поліпшило точність вимірювань та дозволило досягти більш високої стабільності в умовах зміни температур.

Використання стабілізаторної схеми і врахування температурних змін дозволяє досягти високої точності вимірювань температури і відносної вологості, що відповідає вимогам технічного завдання.

## 5. РОЗРАХУНОК ПОХИБКИ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ СТАНЦІЇ

### 5.1 Оцінювання вірогідності контролю

Вірогідність контролю визначається її методичною та інструментальною складовою. Згідно державного стандарту України [14], вірогідність контролю – це ступінь об’єктивної відповідності результату контролю дійсному технічному стану об’єкту.

Методична складова вірогідності контролю визначається як (формула 5.1):

$$B_M = \frac{N_i}{N}, \quad (5.1)$$

де  $N$  – загальна кількість показників, що характеризують технічний стан об’єкту контролю;  $N_i$  – кількість показників, які ввійшли у модель контролю.

Інструментальна складова вірогідності контролю  $B_i$ , визначається ймовірністю помилок першого  $\alpha$  та другого  $\beta$  роду визначення параметрів контролю (формула 5.2):

$$B_i = 1 - \alpha - \beta, \quad (5.2)$$

Загальна вірогідність контролю, яка являє собою ймовірність прийняття правильного рішення, виражається добутком (формула 5.3):

$$B_3 = B_M - B_i, \quad (5.3)$$

А ймовірність прийняття помилкового рішення при контролі буде дорівнювати сумі помилок першого та другого роду (формула 5.4):

$$B_{II} = \alpha + \beta, \quad (5.4)$$

Характеристики інструментальної складової контролю  $\alpha$  та  $\beta$  визначаються за (формулами 5.5 – 5.6) :

$$\alpha = \int_{X_H}^{X_B} f(X) \left( \int_{-\infty}^{X_H-X} f(\delta) d\delta \right) dX + \int_{X_H}^{X_B} f(X) \left( \int_{X_B-X}^{\infty} f(\delta) d\delta \right) dX, \quad (5.5)$$

$$\beta = \int_{-\infty}^{X_H} f(X) \left( \int_{X_H-X}^{X_B-X} f(\delta) d\delta \right) dX + \int_{X_B}^{\infty} f(X) \left( \int_{X_H-X}^{X_B-X} f(\delta) d\delta \right) dX, \quad (5.6)$$

де  $X_B$ ,  $X_H$  – допускові верхнє та нижнє значення контрольованого 75 параметру  $X$ ;  $f(X)$  – щільність ймовірностей контрольованого параметру;  $f(\delta)$  – щільність ймовірностей похибки вимірювання.

Вираз (5.5) справедливий за умови, що математичне очікування розподілу щільності ймовірностей контрольованого параметру співпадає з його номінальним значенням.

Було проведено експериментальне дослідження з визначення похибки обраного анемометра. Як еталонний пристрій визначення швидкості вітрового потоку було обрано анемометр Venetech GM8901, точність якого складає 1.5%.

На анемометри вентилятором нагніталось повітря і паралельно розглядалися покази приладів.

Тестування проводились шляхом поступового вимірювання швидкості повітряного потоку. Було виконано 14 контрольних вимірювань за швидкості 5 ( $\pm 0.25$ ) м/с. Результати наведено у (таблиця 5.1).

За результатами випробувань розраховувалась відносна похибка вимірювання.

Середнє значення відносної похибки в результаті експерименту склало  $\pm 1,8$  відсотків.

Таблиця 5.1 Результати вимірювання

Еталонний анемометр (м/с)	Досліджуваний анемометр (м/ с)	$\delta$ , %	Еталонний анемо- метр (м/с)	Досліджуваний анемометр (м/с)	$\delta$ , %
4.92	4.98	+1.3	4.93	4.86	-1.9
4.86	4.94	+1.6	5.11	5.08	-1.1
5.11	5.19	+1.8	5.06	5.15	+1.6
4.87	4.76	-2.1	4.87	4.94	+1.7
5.00	4.93	-1.6	5.03	4.93	+2.0
5.02	5.09	+1.3	5.10	5.03	-1.4
4.89	4.83	-1.5	4.91	4.97	+1.7

Розрахуємо середньоквадратичне відхилення результатів вимірювання швидкості вітрового потоку (формула 5.6):

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - v_{сер.})^2}{n - 1}} = 0,14, \quad (5.7)$$

де  $n = 14$  – кількість вимірів,  $v_i$  – значення швидкості при  $i$  вимірі.

Згідно із правилом «трьох сігм» проведемо перевірку кожного результату вимірювань на аномальність (формула 5.8):

$$v_i - v \leq 3 \sigma, \quad (5.8)$$

При перевірці виявлено, що всі значення задовольняють умову.

Розглянемо більш детально причини виникнення похибок вимірювання швидкості вітрового потоку. Для цього необхідно проаналізувати механізм виникнення можливих похибок.

Виконаний аналіз показав, що під час вимірювання виникали похибки наступних видів:

1. Похибка від нестабільності аналого-цифрового перетворення вимірювального пристрою.
2. Похибка від нестабільності акустoeлектричного перетворення (при випромінюванні і при прийомі) випромінювачів і приймачів.
3. Похибка від додаткових впливаючих факторів (неоднорідності властивостей середовища та деяких інших).

Виконаємо аналіз наведених вище похибок в залежності від їх виду.

1. Похибка від нестабільності аналого-цифрового перетворення  $\delta_I$  включала: Похибку аналогового представлення та похибку інструментальну аналого-цифрового перетворювача. Розберемо їх більш детально.

Аналого-цифровий перетворювач перетворював аналоговий вхідний сигнал у цифровий вихідний. Процес аналого-цифрового перетворення не був ідеальним і на нього впливали як технологічний розкид параметрів електронних компонентів так і вплив різних внутрішніх і зовнішніх електромагнітних завад.

Однією з найбільш значущих похибок при використанні аналого-цифрового перетворення була похибка аналогового представлення  $\delta_{АП}$ , пов'язана з квантуванням за рівнем (похибка одного відліку).

Похибку  $\delta_{АП}$  аналогового представлення принципово не можна було виключити, так як вона була невід'ємною частиною процесу аналого-цифрового перетворення. Похибка аналогового представлення описувалася прямокутним законом розподілу, що відповідало рівномірної щільності ймовірності знаходження квантуемого аналогового сигналу в діапазоні від  $-0.5h_k$  до  $+0.5h_k$  (формула 5.9):

$$\delta_{АП} = 0.5h_k * 100\%, \quad (5.9)$$

де  $h_k$  – крок квантування.

Значення кроку квантування тісно прив'язане до кількості  $N_{\text{АЦП}} = 10$  розрядів аналого-цифрового перетворювача та до піддіапазону  $U_{\text{ВХ АЦП}} = \pm 1,0$  В вхідної напруги. Тому крок квантування складає (формула 5.10):

$$h_k = \frac{|U_{\text{ВХ АЦП}}|}{2^{N_{\text{АЦП}}}} = \frac{|1,0\text{В}|}{2^{10}} = 0,00097\text{В}, \quad (5.10)$$

звідки слідує (формула 5.11), що:

$$\delta_{\text{АП}} = 0,5 \frac{|U_{\text{ВХ АЦП}}|}{2^{N_{\text{АЦП}}}} = 0,5 \frac{|1,0\text{В}|}{2^{10}} * 100\% = 0,049, \quad (5.11)$$

Похибка  $\delta_{\text{І АЦП}}$  інструментальна обумовлювалася неідеальністю електронних компонентів, з яких складався аналого-цифровий перетворювач, наявністю шумів у вхідному сигналі і у внутрішніх компонентах аналогоцифрового перетворювача, наявністю електромагнітних завад і так далі. Виникнення похибки  $\delta_{\text{І АЦП}}$  інструментальної обумовлювалося впливом багатьох випадкових факторів, і її закон розподілу наближався до нормального.

В сучасних АЦП похибка інструментальна є несуттєвою, в загальному випадку цією похибкою можна було знехтувати, тому було прийнято (формула 5.12), що:

$$\delta_{\text{І АЦП}} = 0,01\%, \quad (5.12)$$

Так як похибки  $\delta_{\text{АП}}$  та  $\delta_{\text{І АЦП}}$  між собою взаємно корельовані, то похибка  $\delta_{\text{І}}$  визначалася наступним чином (формула 5.13):

$$\delta_5 = \delta_{\text{АП}} + \delta_{\text{І АЦП}} = 0,049\% + 0,01\% = 0,06\%, \quad (5.13)$$

2. Похибка від нестабільності акустоелектричного перетворення  $\delta_2$  включала: похибку  $\delta_{\text{ЕА}}$  перетворення електричних коливань в акустичні за допомогою передавача та похибку  $\delta_{\text{АЕ}}$  перетворення акустичних коливань в електричні за допомогою приймача. Розглянемо їх більш детально.



При перетворенні електричних коливань в акустичні коливання відбувається складний процес перетворення електричної енергії в механічну енергію, який в загальному випадку характеризується кількома коефіцієнтами електро механічного зв'язку. Було прийнято, що похибка перетворення електричних коливань в акустичні складає (формула 5.14):

$$\delta_{EA} = 2.0\%, \quad (5.14)$$

При перетворенні акустичних коливань в електричні коливання також відбувається складний процес перетворення механічної енергії в електричну енергію, аналогічний розглянутому вище. Тому приймалося (формула 5.15), що:

$$\delta_{AE} = 2.0\%, \quad (5.15)$$

Тому як похибки  $\delta_{EA}$  та  $\delta_{AE}$  між собою взаємно не корельовані, то похибка  $\delta_2$  визначалася наступним чином (формула 5.16):

$$\delta_3 = \sqrt{\delta_{EA}^2 + \delta_{AE}^2} = \sqrt{(2.0\%)^2 + (2.0\%)^2} \cong 2.80\%, \quad (5.16)$$

### 3. Похибка $\delta_3$ від додаткових впливаючих факторів.

Серед похибок різноманітного походження, які впливали на похибку вимірювального перетворювача (при цьому серед них не можна було визначити домінуючих), можна було виділити такі: неоднорідність фізикомеханічних властивостей матеріалів випромінювача і приймача; робота випромінювача і приймача в області акустичної нелінійності (великі механічні напруги, сильні електричні поля); забрудненість випромінювача і приймача; вплив зовнішніх електричних і магнітних полів; вплив вібрації і ударних впливів. Відповідно до центральної граничної теореми, коли наявна велика кількість додаткових факторів, що впливають (незалежних один від одного), застосовується нормальний закон розподілу похибки вимірювання

від цих додаткових факторів, що впливають, який має нульове математичне сподівання (формула 5.17):

$$P_{\text{ДВФ}}(\delta) = \frac{1}{\sigma_{\text{ДВФ}}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma_{\text{ДВФ}}^2}}, \quad (5.17)$$

де  $\delta$  – похибка від додаткових впливаючих факторів;  $\sigma_{\text{ДВФ}}$  – середньоквадратичне відхилення похибки  $\delta$ .

Оцінка загальної похибки контролю

В результаті проведення аналізу механізму виникнення похибок були розглянуті конкретні види похибок і визначені притаманні їм закони розподілу похибок вимірювання.

1. Для похибки аналого-цифрового перетворення рівномірний закон розподілу помилки вимірювання має наступний вигляд (формула 5.18):

$$P_1(\delta) = \frac{1}{h_k} = \frac{2^{N_{\text{АЦП}}}}{|U_{\text{ВХ АЦП}}|}, \delta \in \left[ -\frac{U_{\text{ВХ АЦП}}}{2 * 2^{N_{\text{АЦП}}}}, +\frac{U_{\text{ВХ АЦП}}}{2 * 2^{N_{\text{АЦП}}}} \right], \quad (5.18)$$

2. Для похибки акустоелектричного перетворення при випромінюванні і при прийомі нормальний закон розподілу помилки вимірювання має вигляд (формула 5.19):

$$P_2(\delta) = \frac{1}{\sigma_3\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma_3^2}}, \quad (5.19)$$

3. Для похибки  $\sigma_{\text{ДВФ}}$  від додаткових факторів, закон розподілу похибки вимірювання мав вигляд (5.17). При цьому значення середньоквадратичних відхилень  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ , і  $\sigma_4$  були отримані в результаті аналізу значень похибок. Було встановлено, що:

$$\sigma_1 = 1.2 \dots 1.3, \quad \sigma_2 = 0.45 \dots 0.55, \quad \sigma_3 = 1.4 \dots 1.5, \quad \sigma_4 = 0.3 \dots 0.4$$

Закон розподілу сумарної похибки  $P_{\Sigma}(\delta)$  нелінійного контролю міцності представляв собою композицію законів розподілу  $P_1(\delta), P_2(\delta), P_3(\delta)$ . Він визначався на основі згортки законів розподілу (формула 5.20):

$$p(y) = \int_{-\infty}^{+\infty} P_1(y-x) P_2(x) dx, \quad (5.20)$$

де  $p(y)$  – результуючий закон розподілу;  $P_1(x), P_2(x)$  – початкові закони розподілу.

Композиція рівномірного закону розподілу  $P_1(\delta)$  и нормального закону розподілу  $P_2(\delta)$  визначалася наступним чином (формула 5.21):

$$p_{12}(\delta_{12}) = \int_{-\infty}^{+\infty} P_2(\delta_{12} - \delta) P_1(\delta) d\delta, \quad (5.21)$$

Закон розподілу сумарної похибки  $P_{\Sigma}(\delta)$  визначався як композиція нормального закону розподілу  $P_{12}(\delta)$  та нормального закону розподілу  $P_3(\delta)$ , (формула 5.22):

$$P_{\Sigma}(\delta_{\Sigma}) = \int_{-\infty}^{+\infty} P_2(\delta_{\Sigma} - \delta) P_3(\delta) d\delta, \quad (5.22)$$

Кількісною оцінкою достовірності вимірювального контролю була ймовірність того, що результат виміру відповідає дійсному значенню.

У загальному вигляді достовірність виміру  $D_{\text{вим}}$  визначалася за (формулою 5.23):

$$D_{\text{вим}} = 1 - P_{\Pi}, \quad (5.23)$$

де  $P_{\Pi}$  – ймовірність помилкових вимірів, яку можна представити у вигляді двох складових (формула 5.24):

$$P_{\Pi} = P_{\Pi(1)} + P_{\Pi(2)}, \quad (5.24)$$

де  $P_{\Pi(1)}$  – ймовірність того, що отримане значення близьке до дійсного значення, а результат вимірювання неправильний (похибка першого роду);  $P_{\Pi(2)}$  – ймовірність того, що отримане значення не відповідає дійсному значенню, а результат вимірювання правильний (похибка другого роду).

Ймовірність похибок першого роду  $P_{\Pi(1)}$  можна визначити по наступній (формулі 5.25):

$$P_{\Pi(1)} = \int_{a_1}^{b_1} F(x) dx \int_{-\infty}^{c_1} F(\Delta) d\Delta + \int_{a_1}^{b_1} F(x) dx \int_{b_1}^{+\infty} F(\Delta) d\Delta, \quad (5.25)$$

де  $F(x)$  – функція розподілу вимірюваної величини;  $[a_1; b_1]$  – межі інтервалу, в якому існує ймовірність помилкових вимірів першого роду;  $F(\Delta)$  – функція розподілу похибки засобу вимірювання;  $[-\infty; c_1]$ ,  $[d_1; +\infty]$  – межі інтервалів, у яких похибки засобів вимірювання не перешкоджають настанню помилки першого роду.

Ймовірність похибок  $P_{\Pi(1)}$  другого роду також можна розрахувати по (формулі 5.26):

$$P_{\Pi(2)} = \int_{a_2}^{b_2} F(x) dx \int_{-\infty}^{c_2} F(\Delta) d\Delta + \int_{a_2}^{b_2} F(x) dx \int_{b_2}^{+\infty} F(\Delta) d\Delta, \quad (5.26)$$

де  $F(x)$  – функція розподілу вимірюваної величини;  $[a_2; b_2]$  – межі інтервалу, в якому існує ймовірність помилкових вимірів другого роду;  $F(\Delta)$  – функція розподілу похибки засобу вимірювання;  $[-\infty; c_2]$ ,  $[d_2; +\infty]$  – межі інтервалів, у яких похибки засобів вимірювання не перешкоджають настанню помилки  $P_{\Pi(2)}$  другого роду.

Підставляючи значення верхньої та нижньої границь допусків у (формулі 5.25) та (формулі 5.26), знайдемо значення помилок контролю першого та другого роду (розраховано у пакеті Mathcad):

$$\alpha = 2,5\%;$$

$$\beta = 0,035\%.$$

Розраховане за формулою (5.23) значення вірогідності вимірювального контролю швидкості вітрового потоку складає 0,975. Це дозволяє судити про високу ймовірність контролю швидкості вітру, і лише близько 3 відсотків результату контролю можуть бути хибними. В подальшому підвищити вірогідність контролю можливо шляхом зменшення похибки вимірювання, що передує контролю.

## 5.2 Калібрування датчиків та вихідні дані для прогнозування

Калібрування датчиків важливий етап у створенні метеостанції та надалі для зняття правильних параметрів зміни погодних умов. В цій підтемі магістерської роботи розглянемо методи та математичні інструменти, при калібруванні датчиків.

### 5.2.1 Калібрування датчика напрямку вітру

Калібрування флюгера не вимагає особливих машин і обладнання, так як може бути налаштований вручну поворотом головки, що рухається, в діапазоні, позначеному вище, де  $0^\circ$  відповідає вихідному сигналу в 4 мА, а  $359^\circ$  - 20 мА. Враховуючи вбудований опір при підключенні до плати контролю, можна виділити значення вихідного сигналу в числових одиницях:

a) аналоговий сигнал Ардуїно: 0 – 1023 числових одиниць;

b) робоча напруга Ардуїно: 0 – 5 В

c) діапазон вимірювання:  $0^\circ - 360^\circ$ , тоді мінімальне значення вихідної напруги (формула 5.27):

$$V_{min\Phi\lambda} = I_{min\Phi\lambda} * R_{\text{флюгер}} = 3,5\text{мА} * 234,5\text{ Ом} \approx 0,995\text{ В} \approx 0^\circ \quad (5.27)$$

Для визначення мінімального значення числових одиниць необхідно знати кількість вольт, що відповідає 1 числовому одиниці (формула 5.28):

$$n_{VperDigit} = \frac{V_{max}}{Output_{max}} = \frac{5}{1023} = 0.00489 \left[ \frac{В}{\text{числ. од.}} \right] \quad (5.28)$$

де  $V_{max}$  – максимальне робоче значення плати Ардуїно, а  $Output_{max}$  – максимальний вихідний аналоговий сигнал.

Враховуючи отриманий результат, визначимо діапазон значень числових одиниць.

Мінімальне значення числових одиниць дорівнює (формула 5.29):

$$n_{Vmin\Phi\text{л}} = \frac{V_{min\Phi\text{л}}}{n_{VperDigit}} = \frac{0.9944}{0.00489} = 203,34 \text{ [числ. од.]} \quad (5.29)$$

За аналогією визначаємо максимальне значення вихідної напруги та значення числових одиниць, що відповідає йому (формула 5.30):

$$V_{max\Phi\text{л}} = I_{max\Phi\text{л}} * R_{\text{флюгер}} = 20\text{мА} * 248.6 \text{ Ом} \approx 4.973 \text{ В} \approx 360^\circ \quad (5.30)$$

$$n_{Vmax\Phi\text{л}} = \frac{V_{max\Phi\text{л}}}{n_{VperDigit}} = \frac{4.972}{0.00489} = 1016.88 \text{ [числ. од]}$$

Кількість вольт, що відповідає  $1^\circ$  повороту флюгера (формула 5.31):

$$n_{Vper1^\circ} = \frac{V_{range\Phi\text{л}}}{\text{Діапазон вимірювання}_{max \Phi\text{л}}} = \frac{4.972 - 0.9944}{360} = 0.11 \left[ \frac{В}{1^\circ} \right] \quad (5.31)$$

де

$$V_{range\Phi_l} = V_{max\Phi_l} - V_{min\Phi_l}$$

Кількість числових одиниць, що відповідає 1° повороту флюгера у свою чергу становить (формула 5.32):

$$n_{Dper1^\circ} = \frac{n_{Vper1^\circ}}{n_{VperDigit}} = \frac{0.11}{0.00489} = 2.249[\text{числ. од./}1^\circ] \quad (5.32)$$

У результаті напрям вітру в градусах дорівнюватиме (формула 5.33):

$$\frac{n_{out\Phi_l} - n_{Vmin\Phi_l}}{n_{Dper1^\circ}} = \text{Напрявлення вітру } [^\circ], \quad (5.33)$$

### 5.2.2 Калібрування датчика швидкості вітру

Калібрування анемометра відбувається у спеціальній вітровій трубці, яка є каналом, з регульованим значенням швидкості вітру (рисунок 5.2.1).

Враховуючи вбудований опір під час підключення до плати контролю:



Рисунок 5.2.1 – Анемометр усередині вітрового каналу

Порівнюючи значення швидкості вітру вітрового каналу та показання відкаліброваного датчика отримуємо характеристики. Результати калібрування представлені (рисунок 5.2.2):

- d) значення вихідного сигналу в числових одиницях;
- e) аналоговий сигнал Ардуїно 0 – 1023 числових одиниць;
- f) робоча напруга Ардуїно 0 – 5 В

Діапазон вимірювання: 0 – 50 м/стоді мінімальне значення вихідної напруги (формула 5.34):

$$V_{min\text{Анем}} = I_{min\text{Анем}} * R_{\text{анеометра}} = 4 \text{ мА} * 247,8 \text{ Ом} \approx 0,9912 \text{ В} \approx 0 \frac{\text{М}}{\text{с}}, \quad (5.34)$$

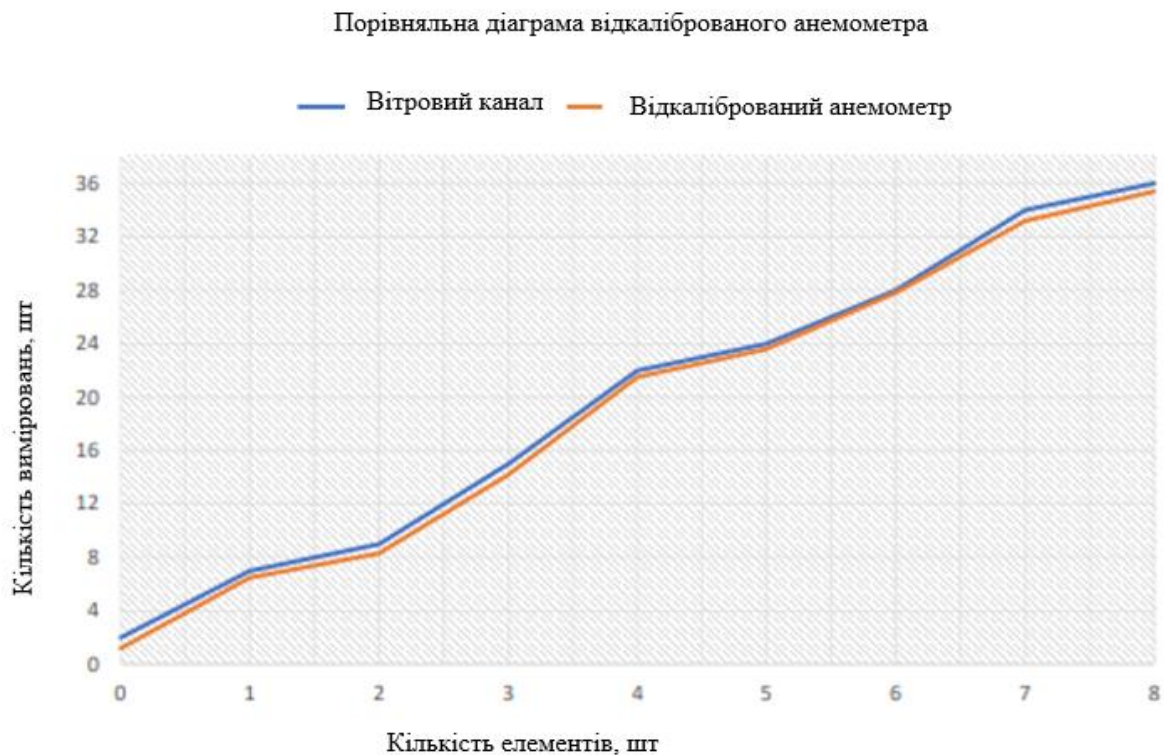


Рисунок 5.2.2 - Порівняльна характеристика відкаліброваного анеометра

Враховуючи отриманий результат, визначимо діапазон значень числових одиниць. Мінімальне значення числових одиниць дорівнює (формула 5.35):



$$n_{VminАнем} = \frac{V_{minАнем}}{n_{VperDigit}} = \frac{0.9912[V]}{0.00489 \left[ \frac{B}{\text{числ. од.}} \right]} = 202.7[\text{числ. од.}], \quad (5.35)$$

За аналогією визначаємо максимальне значення вихідної напруги та значення числових одиниць, що відповідає йому (формула 5.36):

$$V_{maxАнем} = I_{maxАнем} * R_{анемометра} = 20 \text{ мА} * 247,8 \text{ Ом} \approx 4.956 \text{ В} \approx 50 \frac{\text{М}}{\text{с}}, \quad (5.36)$$

$$n_{VmaxАнем} = \frac{V_{maxАнем}}{n_{VperDigit}} = \frac{4.956[V]}{0.00489 \left[ \frac{B}{\text{числ. од.}} \right]} = 1013.5[\text{число. од.}]$$

Кількість вольт, що відповідає 1 м/с (формула 5.37):

$$n_{Vper} \frac{m}{s} = \frac{V_{rangeАнем}}{\text{Діапазон вимірювання}_{maxАнем}} = \frac{4.956[V] - 0.9912[V]}{50 \left[ \frac{M}{c} \right]} = 0.0795, \quad (5.37)$$

де

$$V_{rangeАнем} = V_{maxАнем} - V_{minАнем}$$

Кількість числових одиниць, що відповідає 1 м/с швидкості вітрового потоку у свою чергу (формула 5.38):

$$n_{Dper} \frac{m}{s} = \frac{n_{Vper} \frac{m}{s}}{n_{VperDigit}} = \frac{0.0795 \left[ \frac{B}{\frac{M}{c}} \right]}{0.00489 \left[ \frac{B}{\text{числ. од.}} \right]} = 16.257 \left[ \frac{\text{числ. од.}}{\frac{M}{c}} \right], \quad (5.38)$$

У результаті швидкість вітру в м/с дорівнює (формула 5.39):

$$\frac{n_{out_{Анем}}[\text{числ. од.}] - n_{Vmin_{Анем}}[\text{числ. од.}]}{n_{Dper} \frac{m}{s} \left[ \frac{\text{числ. од.}}{\frac{M}{c}} \right]} = \text{швидкість вітру} \left[ \frac{M}{c} \right], \quad (5.39)$$

### 5.2.3 Калібрування датчика атмосферного тиску

Калібрування барометра порівнювалося з показаннями цифрового барометра в умовах різного тиску, так як атмосферний тиск при нормальних умовах дорівнює 1013,25 мБар, а її відхилення коливається відносно невеликих значеннях, калібрування не вимагає значної калібрувальної техніки.

Значення вихідного сигналу в числових одиницях:

- g) аналоговий сигнал Ардуїно 0-1023 числових одиниць;
- h) робоча напруга Ардуїно 0-5 В;
- i) діапазон виміру 0 – 1200 мБар, тоді мінімальне значення вихідної напруги

(формула 5.40):

$$V_{minБ} = I_{minБ} * R_{флюгер} = 4\text{мА} * 248,1 \text{ Ом} \approx 0.9924 \text{ В} \approx 0\text{мбар}, \quad (5.40)$$

Враховуючи отриманий результат, визначимо діапазон значень числових одиниць. Мінімальне значення числових одиниць дорівнює (формула 5.41):

$$n_{VminБ} = \frac{V_{minБ}}{n_{VperDigit}} = \frac{0.9924[\text{В}]}{0.00489 \left[ \frac{\text{В}}{\text{числ. од.}} \right]} = 202.94[\text{числ. од.}], \quad (5.41)$$

За аналогією визначаємо максимальне значення вихідної напруги та значення числових одиниць, що відповідає йому (формула 5.42):

$$V_{maxБ} = I_{maxБ} * R_{барометра} = 20 \text{ мА} * 248,1 \text{ Ом} \approx 4.962\text{В} \approx 1200 \text{ мбар}, \quad (5.42)$$

$$n_{VmaxБ} = \frac{V_{maxБ}}{n_{VperDigit}} = \frac{4.962[V]}{0.00489 \left[ \frac{В}{\text{числ. од.}} \right]} = 1014.72 [\text{число. од.}]$$

Кількість вольт, що відповідає 1 мбар (формула 5.43):

$$n_{Vpermbar} = \frac{V_{rangeБ}}{\text{Діапазон вимір.}_{maxБ}} = \frac{4.962[V] - 0.9924[V]}{1200 \text{ мбар}} = 0.033 \left[ \frac{В}{\text{мбар}} \right], \quad (5.43)$$

Кількість числових одиниць, що відповідає 1 мбар атмосферного тиску у свою чергу до (формула 5.44):

$$n_{Dpermbar} = \frac{n_{Vpermbar}}{n_{VperDigit}} = \frac{0.0033 \left[ \frac{В}{\text{мбар}} \right]}{0.0489 \left[ \frac{В}{\text{числ. од.}} \right]} = 0.67 \left[ \frac{\text{числ. од.}}{\text{мбар}} \right]$$

У результаті атмосферний тиск у мбар дорівнює (формула 5.45):

$$\frac{n_{outБ} [\text{числ. од.}] - n_{VminБ} [\text{числ. од.}]}{n_{Dpermbar} \left[ \frac{\text{числ. од.}}{\text{мбар}} \right]} = \text{Атмосферное давление [мбар]}$$

#### 5.2.4 Калібрування датчика температури та вологості

Для калібрування термогігрометра використовувалася спеціальна нагрівальна та охолоджувальна камери з незначною зміною вологості. Відкалібрований датчик має незначне відхилення від значення температури в камері, що видно з (рисунок 5.2.3).

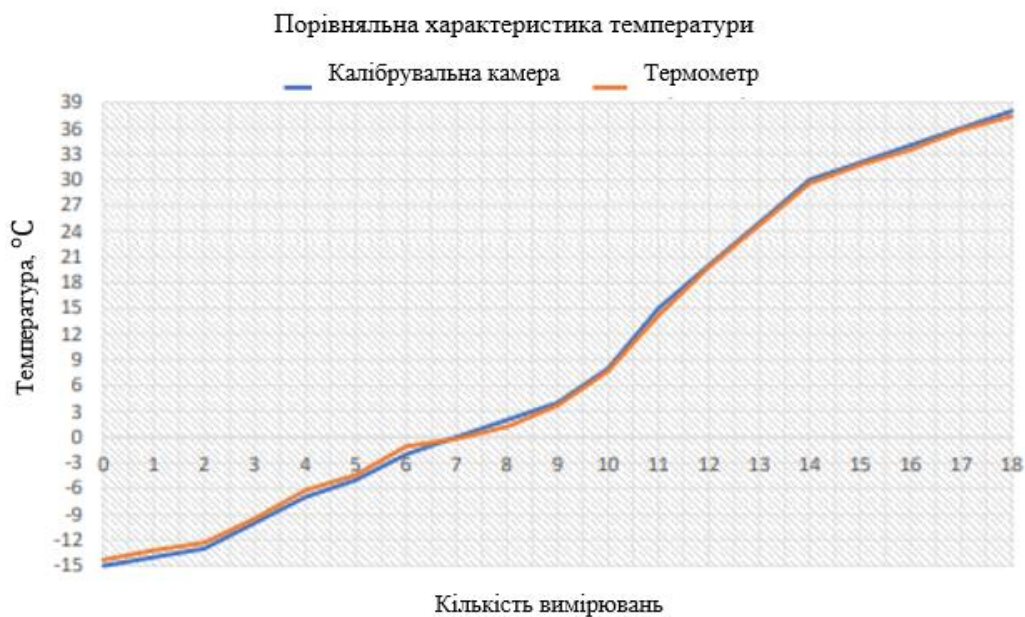


Рис 5.2.3 – Порівняльна характеристика відкаліброваного термометра

Відхилення значень вологості становить відхилення в межах норми та показано на (рисунок 5.2.4).

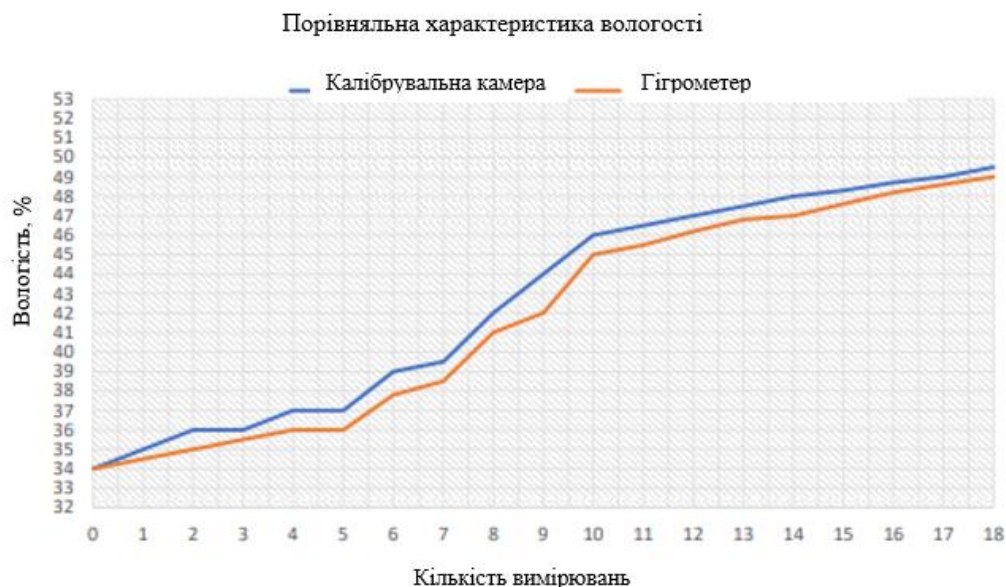


Рисунок 5.2.4 – Порівняльна характеристика відкаліброваного гігрометра

Значення вихідного сигналу в числових одиницях:

- j)* аналоговий сигнал Ардуїно 0-1023 числових одиниць;
- k)* робоча напруга Ардуїно 0-5 В;

Діапазон вимірювань термометра становить – 30 °С ... + 70 °С тоді мінімальне значення вихідної напруги (формула 5.46):

$$V_{minT} = I_{minT} * R_{термометра} = 4\text{мА} * 146.9\text{ Ом} \approx 0.5876\text{ В} \approx -30^{\circ}\text{С} \quad (5.46)$$

Враховуючи отриманий результат, визначимо діапазон значень числових одиниць. Мінімальне значення числових одиниць дорівнює (формула 5.47):

$$n_{VminT} = \frac{V_{minT}}{n_{VperDigit}} = \frac{0.5876[\text{В}]}{0.00489 \left[ \frac{\text{В}}{\text{числ. од.}} \right]} = 120.16[\text{числ. од.}] \quad (5.47)$$

За аналогією визначаємо максимальне значення вихідної напруги та значення числових одиниць, що відповідає йому (формула 5.48):

$$V_{maxT} = I_{maxT} * R_{термометер} = 20\text{ мА} * 146,9\text{ Ом} \approx 2.938\text{В} \approx +70^{\circ}\text{С}$$

$$n_{VmaxT} = \frac{V_{maxT}}{n_{VperDigit}} = \frac{2.938[\text{В}]}{0.00489 \left[ \frac{\text{В}}{\text{числ. од.}} \right]} = 600.81[\text{число. од.}] \quad (5.48)$$

Кількість °С, що відповідає 1 чисельній одиниці (формула 5.49):

$$n_{\text{СperD}} = \frac{\text{Діапазон вимірювання}_{maxT} - \text{Діапазон вимірювання}_{minT}}{n_{VmaxT} - n_{VminT}} = \quad (5.49)$$

$$= \frac{70[{}^{\circ}\text{С}] - (-30)[{}^{\circ}\text{С}]}{600.81[\text{числ. од.}] - 120.16[\text{числ. од.}]} = 0.208$$

Так як значення характеристик температури у свій діапазон включають значення нижче 0 і перерахунок за основною методикою давав помилку в кінцевому результаті доцільно ввести параметр, який регулював би весь допустимий температурний діапазон.

Таким чином, стабілізуючий коефіцієнт дорівнює (формула 5.50):

$$T_0 = (n_{out\Gamma}[\text{числ. од}] - n_{Vmin\Gamma}) * n_{\text{сperD}} \quad (5.50)$$

В результаті, з урахуванням стабілізуючого коефіцієнта, температура навколишнього середовища в °С (формула 5.51):

$$\text{Діапазон виміру}_{min\Gamma} + T_0 = \text{Температура навколишньої середи} [^{\circ}\text{C}] \quad (5.51)$$

Діапазон вимірів гігрометра становить від 0 % ... 100 %, тоді мінімальне значення вихідної напруги (формула 5.52):

$$V_{min\Gamma} = I_{min\Gamma} * R_{\text{гігрометр}} = 4 \text{ мА} * 146,6 \text{ Ом} \approx 0.5864\text{В} \approx 0\% \quad (5.52)$$

Враховуючи отриманий результат, визначимо діапазон значень числових одиниць. Мінімальне значення числових одиниць дорівнює (формула 5.53):

$$n_{Vmin\Gamma} = \frac{V_{min\Gamma}}{n_{VperDigit}} = \frac{0.5864[\text{В}]}{0.00489 \left[ \frac{\text{В}}{\text{числ. од}} \right]} = 119.92[\text{числ. од}], \quad (5.53)$$

За аналогією визначаємо максимальне значення вихідної напруги та значення числових одиниць, що відповідає йому (формула 5.54):

$$V_{max\Gamma} = I_{max\Gamma} * R_{\text{гігрометр}} = 20 \text{ мА} * 146,6 \text{ Ом} \approx 2.932\text{В} \approx 100\%, \quad (5.54)$$

$$n_{Vmax\Gamma} = \frac{V_{max\Gamma}}{n_{VperDigit}} = \frac{2.932[\text{В}]}{0.00489 \left[ \frac{\text{В}}{\text{числ. од.}} \right]} = 599.59[\text{число. од.}]$$

Кількість вольт, що відповідає 1% (формула 5.55):

$$n_{Vper1\%} = \frac{V_{range\Gamma}}{\text{Діапазон вимір.}_{max\Gamma}} = \frac{2.932[V] - 0.5864[B]}{100[\%]} = 0.0234 \left[ \frac{B}{\%} \right], \quad (5.55)$$

Кількість числових одиниць, що відповідає 1% вологості у свою чергу (формула 5.56):

$$n_{Vper1\%} = \frac{n_{Vper\%}}{n_{VperDigit}} = \frac{0.0234 \left[ \frac{B}{\%} \right]}{0.00489 \left[ \frac{B}{\text{числ. од}} \right]} = 4.785 \left[ \frac{\text{числ. од}}{\%} \right], \quad (5.56)$$

У результаті вологість у % дорівнює (формула 5.57):

$$\frac{n_{out\Gamma}[\text{числ. од.}] - n_{Vmin}[\text{числ. од.}]}{n_{Dper\%} \left[ \frac{\text{числ. од.}}{\%} \right]} = \text{Вологість} [\%], \quad (5.57)$$

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5

У даному розділі був проведений аналіз точності вимірювання метеорологічної станції. Були описані принципи роботи первинних перетворювачів, які використовуються для визначення погодних показників у метеостанції.

Були експериментально визначені похибки вимірювання первинних перетворювачів та запропоновані способи їх зменшення.

Розраховане значення вірогідності вимірювального контролю швидкості вітрового потоку.

У дослідженні покращення точності метеостанції було наведено числові розрахунки, які дозволяють перетворити аналоговий сигнал, отриманий від датчика, на конкретний вимірюваний параметр. Розглянуті формули визначають мінімальні та

максимальні значення вихідної напруги, конвертують їх в числові одиниці та визначають, як ці числа відповідають параметру виміру.

За допомогою вказаних розрахунків шляхом експерименту можна покращити точність вимірювання параметрів метеостанції.



## 6 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Стартапи стали широко поширеними формами малого венчурного підприємництва у світі впродовж останнього десятиліття. Це стало можливим завдяки зниженню бар'єрів входу на ринок, особливо за допомогою Інтернету як засобу комунікації та збуту. Інтернет спрощує пошук споживачів та інвесторів, дає змогу знаходити ресурси та перетинати кордони між ринками різних країн. Стартапи є важливою складовою інноваційної економіки, оскільки їх мобільність, гнучкість і велика кількість сприяють зростанню інноваційних ідей.

### 6.1 Опис ідеї стартап-проекту

Ідея стартапу полягає в дослідженні метода підвищення точності портативної цифрової метеорологічної станції, яка зможе збирати дані про погодні умови, такі як вологість, температура, атмосферний тиск, рівень вуглекислого газу та швидкість повітряного потоку. Крім того, станції необхідно мати вбудовану сонячну батарею, що дозволить їй працювати напівавтономно. Додатково, пристрій буде оснащений сенсорним дисплеєм для відображення дати та часу, а також матиме можливість підключення до комп'ютера через USB. Основна мета стартапу полягає в тому, щоб забезпечити продукт з нижчою ціною, довговчністю елементів та компактнішими розмірами, відповідно до встановлених стандартів точності.

Актуальність теми випливає з потреби покращення метеостанції, яка може функціонувати незалежно від електромережі. Це особливо важливо для вимірювання погодних параметрів у важкодоступних та віддалених місцях, де немає можливості забезпечити постійне живлення.

Також важливо зазначити, що багато сучасних метеорологічних станцій на ринку не мають вбудованих сенсорів для вимірювання швидкості та напрямку вітрових потоків. Але саме ці параметри є дуже важливими для багатьох метеорологічних спостережень, що підсилює значимість вдосконалення пристрою. Ультразвукова технологія використовується для вимірювання вітру у метеостанції, що дозволяє

покращити точність вимірювань порівняно з традиційними анемометрами з крильцями або чашками.

Ціль стартапу, спрямована на вдосконалення та впровадження покращеної портативної цифрової метеорологічної станції, яка вносить значні покращення у логіку та семантику сфери вигод та області фінансів. Основні аспекти, які призводять до цих покращень, можна виділити наступним чином:

#### 1. Нові технології вимірювання вітру.

Використання ультразвукової технології для вимірювання вітру представляє інноваційний підхід, який покращує точність вимірювань. Це значно перевершує традиційні методи, такі як анемометри з крильцями чи чашками. В реальному часі отримані точні дані про швидкість та напрямок вітру надають цінну інформацію для різних сфер, включаючи сільське господарство, енергетику та інфраструктуру.

#### 2. Напівавтономна робота.

Вбудована сонячна батарея дозволяє станції працювати напівавтономно, що робить її ідеальною для використання у важкодоступних та віддалених місцях. Це не лише розширює область застосування, але й знижує залежність від електромережі, забезпечуючи стабільність та незалежність вимірювань.

#### 3. Доступність та компактність.

Фокус на створенні продукту з нижчою ціною та компактнішими розмірами відповідає вимогам ринку та сприяє швидшому поширенню технології. Це може забезпечити широкий доступ до метеорологічних даних для різних користувачів, включаючи домогосподарства, малий бізнес та наукові дослідження.

#### 4. Сенсорний дисплей та зручний інтерфейс.

Вбудований сенсорний дисплей, який відображає дату та час, робить використання станції простим та зручним. Це важливо для користувачів, які хочуть миттєво отримувати дані без необхідності використання зовнішніх пристроїв.

#### 5. Підключення до комп'ютера та зв'язок через USB.

Можливість підключення до комп'ютера через USB розширює можливості аналізу та збереження даних. Це важливо для наукових досліджень, а також для тих, хто вимагає детального аналізу погодних умов.

## 6. Застосування в різних галузях.

Збір точних та надійних погодних даних може мати значення в різних галузях, включаючи сільське господарство, енергетику, туризм та авіацію. Це відкриває нові можливості для використання продукту у різних сферах економіки та науки.

Ці покращення у логіці та семантиці сфери вигод та фінансів роблять цей стартап перспективним та важливим для вирішення сучасних викликів в області метеорології та екології.

Сформуємо карта проекту стартапу відображена у вигляді (таблиці 6.1). [15].

Таблиця 6.1 Зображення інформаційної карти

Назва блоку	Характеристики
1	2
Загальні характеристики стартап-проекту	
Назва стартап проекту	Покращення точності та розширення діапазону вимірювання портативних метеорологічних станцій
Проблема, яку вирішує наш стартап проект	Вдосконалена метеостанція має унікальні властивості, які дозволяють проводити докладний моніторинг погодних умов. Серед її особливостей - потужна система, широкий діапазон вимірювань, здатність вимірювати повітряний потік та компактність, що робить її дуже зручною для використання. Ця метеостанція доступна за доступною ціною, що робить її привабливим вибором для широкого кола користувачів

## Подовження таблиці 6.1

Загальні характеристики стартап-проекту	
Завдання яких дотримуємося	Метеостанція пропонує портативність, додаткову напівавтономну систему живлення, вбудований захист від вологи, широкий діапазон вимірювання, компактні розміри та доступну ціну. Вона здатна здійснювати вимірювання, які дозволяють прогнозувати погодні умови на 10-20 годин вперед. Ця метеостанція володіє всіма необхідними характеристиками.
Основні цільові групи, на які спрямований проект	Метеостанції широко використовуються в різних галузях, включаючи аеропорти, лікарні та підприємства, де необхідно зберігати товари у спеціальних умовах. Вони є надзвичайно важливими для метеозалежних людей, яким потрібно отримувати прогноз погоди заздалегідь. Крім того, ці станції можуть бути використані для спеціалізованих завдань, зокрема вимірювання погодних умов у важкодоступних та віддалених місцях.
Автор та команда стартап проекту	
Автори стартап проекту	Евтушенко Ю.В.
Команда стартап-проекту	-

Подовження таблиці 6.1

Опис продукту стартап-проекту	
Мінімальний життєздатний продукт (MVP) для стартапу та назва	Вдосконалена портативна цифрова метеостанція для вимірювання п'яти погодних параметрів.
Напрямок застосування та функціональні можливості проекту	Метеостанція може бути використана для спеціалізованих завдань, таких як вимірювання погодних умов у важкодоступних та віддалених місцях.
Унікальність властивостей стартап проекту	Модернізована метеостанція вимірює п'ять погодних факторів одночасно, має напівавтономну енергосистему, компактні розміри і відносно низьку вартість порівняно з альтернативами. Вона може надавати прогноз погоди протягом до одного тижня. Метеостанція не має рухомих частин, що підвищує її надійність. Крім того, вона обладнана сенсорним модулем і відображає як дату, так і час. Пристрій може бути підключений до комп'ютера через USB-інтерфейс, не втрачаючи свого значення до комп'ютера по інтерфейсу USB.
Стадія розробки	Ідейна стадія

Подовження таблиці 6.1

Технічні характеристики	Робочий діапазон напруги: 2 до 5 вольт; Діапазон вимірювання температури: від -40 до 85 градусів Цельсія; Діапазон вимірювання вологості: від 0 до 100 відсотків; Діапазон вимірювання тиску: від 300 до 1100 гектопаскалів.
Супровід продукту	Швидкість вимірювання вітру коливається в межах від 0 до 75 метрів на секунду. Розміри пристрою становлять 130 на 90 на 55 міліметрів. Корпус виготовлений з пластику. Пристрій гарантовано працюватиме без відмови протягом принаймні 10000 годин.
<b>Фінансування стартап-проекту</b>	
Ціна	Орієнтовна вартість пристрою становить 6960 грн.
Інвестиції	Не треба
Інтелектуальна власність	Розробка
<b>Результати стартап-проекту</b>	
Срок реалізації проекту	2025
Кількісна ознака проекту	Охват виробництва – одна одиниця продукції
Показники якості стартап-проекту	Пристрій відповідає вимогам і є ефективним з економічної точки зору, оскільки ефективно використовує трудові, матеріальні та фінансові ресурси.

## 6.2 Технологічна перевірка оцінки використання технологій та оцінка доступності

Проведемо докладний аналіз технології, яка буде використовуватися для втілення ідеї проекту (процес виготовлення товару). Оцінка технологічної реалізованості ідеї проекту включає в себе наступні аспекти (табл. 6.2):

- Яким чином було виготовлено товар згідно з ідеєю проекту?
- Чи існують вже такі технології, чи потрібно їх розробляти/вдосконалювати?
- Чи доступні такі технології для авторів проекту?

Таблиця 6.2 -Технічна реалізованість

№	Ідея проекту/ продукту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Автономна система живлення	1. Сонячна батарея 2. Живлення від бортової системи автомобіля 3. Турбіна	Наявні	1. Так 2. Так 3. Ні
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: сонячна батарея, так як вона є найзручнішим і найдоступнішим варіантом та не поступається своїми характеристиками іншим				

На основі аналізу таблиці можна зробити висновок про можливість впровадження технологій для створення автономної системи живлення пристрою, а також визначити оптимальний технологічний шлях для його реалізації.

### 6.3 Розвиток стартап проекту

Для оцінки фізичної реалізованості ідеї проекту використовувався метод технологічного аудиту, що представляє собою оцінку технологій, що використовуються для проекту та їх доступність. Сформована технологічна карта проекту виглядає наступним чином (табл. 6.3).

Таблиця 6.3 Технологічна карта

Параметри	Проміжні рішення				
	1-ше	2-ге	3-те	4-ге	5- те
Визначення температури повітря	За допомогою спиртового термометра	За допомогою ртутного термометра	За допомогою електронного термометра	За допомогою ультразвукового сенсора	Інші
Визначення вологості повітря	За допомогою методу «точки роси»	Психометричним методом	Гігроскопічним методом	За допомогою цифрового датчика вологості	Інші
Визначення атмосферного тиску	За допомогою ртутного барометра	За допомогою газового барометра	За допомогою цифрового барометра	Інші	
Визначення швидкості вітру	За допомогою флюгера	За допомогою обертового анемометра	За допомогою вихрового анемометра	За допомогою ультразвукового анемометра	Інші



Подовження таблиці 6.3

Параметри	Проміжні рішення				
	1-ше	2-ге	3-те	4-те	5- те
Живлення	Від мережі	Від батарейок	Від акумулятора	Автономна система живлення	Інші
Додаткові функції	Годинник	Календар	Підсвітка дисплею	Аудіо сигнал	Інші

Основною метою технологічного аудиту є виявлення можливостей та обмежень у використанні технологій для досягнення мети проекту.

Також важливо враховувати виклики управління технологічними змінами в організаціях.

Для оздоровлення продукту також було проведено аналіз контрольних питань за П.П. Супковим. Результати аналізу оздоровлення продукту наведені у таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 Опрацювання питань для удосконалення продукту

№	Запитання	Відповідь
1.	Частиною яких систем є продукт?	Вимірювальний пристрій призначений для вимірювання погодних умов в непрякій близькості або на відстані від самого пристрою.

## Подовження таблиці 6.4

2.	Чи можна розділити продукт на частини?	Датчик вимірювання температури, вологості, атмосферного тиску, рівня вуглекислого газу, швидкості та напрямку вітру. Мікроконтролер Arduino Nano, дисплей.
3.	Які функції надсистеми може виконувати продукт? Як їх з ними пов'язати?	Метеостанція призначена для вимірювання вологості, температури, атмосферного тиску, а також швидкості та напрямку вітру.
4.	Чи можна об'єднати (агрегувати) кілька елементів продукту в один?	Можна використовувати універсальні сенсори, які вимірюють одночасно кілька погодних параметрів.
5.	Яким має бути ідеальний продукт?	Має відповідати всім вимогам технічного завдання щодо точності, мати компактні розміри та доступну ціну.

## Подовження таблиці 6.4

№	Запитання	Відповідь
6.	Чи можна нерухомі частини продукту зробити рухомими і навпаки?	<p>Замість використання рухомих (обертальних) анемометрів, можна використовувати нерухомі (ультразвукові) анемометри, що підвищить надійність пристрою.</p> <p>Це дозволить уникнути зносу обертових частин і забезпечить більшу надійність пристрою.</p>
7.	Що відбудеться, якщо вилучити цей продукт? Чим його можна замінити?	Системи для відстеження погодних умов у більш простому вигляді
8.	Яким цей продукт був у минулому?	Термометр Галілея, спиртовий термометр, ртутний термометр.
9.	На розвиток яких функцій будо спрямоване удосконалення продукту?	Збільшилася кількість вимірювальних погодних параметрів, і тепер пристрій є портативним і має власну напівавтономну систему живлення у вигляді сонячної батареї

## Подовження таблиці 6.4

10.	Які функції залишились «недорозвиненими»?	Метеостанція може працювати без перерви протягом 3-5 днів за рахунок акумулятора. Сонячна батарея є альтернативною системою живлення, яка працює лише в певний час доби, тому менш надійна.
11.	Як можна натепер розвинути ці функції?	Замінити акумуляторну батарею на більшу ємність та додати власну напівавтономну сонячну енергосистему.

## 6.4 Аналіз ринку можливостей початку стартап проекту

Для планування розвитку стартап-проекту важливо визначити ринкові можливості та загрози, які можуть вплинути на його впровадження. Це дозволить врахувати стан ринкового середовища, потреби потенційних клієнтів та конкурентні пропозиції. Аналіз попиту, його обсяг та динаміка є першочерговим завданням перед інвестуванням (табл. 6.5).

Таблиця 6.5 Попередня характеристика стартап проекту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1.	Кількість головних гравців, од	6
2.	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	4.1 млн

## Подовження таблиці 6.5

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
3.	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4.	Наявність обмежень для входу	-
5.	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Міжнародний формат стандартизації
6.	Середня норма рентабельності в галузі, %	25-35%

Рентабельність визначає ефективність виробництва, де грошовий прибуток повністю відшкодовує витрати та генерує прибуток для розширеного відтворення. Інвестування грошових коштів є доцільним, якщо прибуток від нього перевищує відсотки від збереження у банку.

Проведемо більш детальну оцінку загальних ринкових критеріїв (табл. 6.6).

Таблиця 6.6 Аналіз ринкових критеріїв

Критерій	Стадія зрілості	Пояснення
Попит	Зростання	Повільне зростання покупців
Технологія	Спад	Внесення невеликих ідей в галузі продукції і процесів
Товари	Зростання	Покращення дизайну
Виробництво і збут	Зрілість	Зайві виробничі потужності, використання менш кваліфікованої праці, довгі виробничі цикли, дистриб'ютори обслуговують менше асортиментних ліній.

Подовження таблиці 6.6

Критерій	Стадія зрілості	Пояснення
Зміни в характері міжнародної торгівлі	Зростання	Експортування товарів з розвинутих країн в інші місця світу
Інтенсивність конкуренції	Зрілість	Посилення цінової конкуренції

Важливим етапом є психологічного потенціалу ніші ринку (табл. 6.7). Оцінка психологічного потенціалу є важливим кроком для самопізнання та самооцінки (ресурсу) за допомогою визначення можливостей фірми обслуговувати ринковий сегмент, що включає наявність фінансових ресурсів, конкурентні переваги витрат, технологічні бар'єри, маркетингові можливості та кваліфікацію управлінського персоналу, яка відповідає вимогам ринку та рівню конкурентної боротьби на ньому.

Основні ознаки ідеального сегмента можна узагальнити так: великий обсяг поточних продажів; швидкий темп зростання; високі показники рентабельності; помірна конкуренція [16].

На практиці дуже складно зустріти таке поєднання сприятливих факторів: швидкий ріст сегмента завжди супроводжується зростанням конкуренції; наявність вільних ринкових ніш створює можливості для компанії, а відсутність технологій для виробництва товарів обмежує використання цих можливостей.

Таблиця 6.7 Оцінювання психологічного потенціалу ніші ринку

Критерії	Пояснення
Ніша ринку	Електроприлади, цифрові метіостанції
Характеристика наявних ніш	Вимірювання та відстеження погодних умов. Прогнозування погоди.
Нові ніші	Ультразвукові сенсори

## Подовження таблиці 6.7

Потенціал продуктового розширення ніш	Модернізація стаціонарних метеостанцій, розширення діапазонів вимірювання, додавання нових функцій
Наявність замінників та аналогів	Немає
Рівень запитів щодо продукту	Вище середнього
Ступінь готовності до купівлі продукту	Вище середнього
Загальна захищеність ніші від конкурентів	Ширший діапазон вимірювання, більш приваблива ціна

Тепер проаналізуємо цільову аудиторію для ринку. Обрано напрямок B2C. Характеристику цільової аудиторії можна знайти в таблиці 6.8.

Таблиця 6.8 Характеристика цільової аудиторії

Ознаки	Показники для аналізу
Частота використання	Вище середнього
Частота купівлі	Вище середнього
Кількість торгових марок	21
Переваги в упакуванні	Дизайн в полу прозrachній упаковці
Місце купівлі продукту	Магазини електроніки
Ставлення до нових продуктів	Лояльне
Швидкість прийняття рішень	Середня
Рівень сприйняття інновацій	Рання більшість
Рівень доходів	Вище середнього

Тепер проведемо аналіз сегментації ринку (табл. 6.9) для більш детального визначення цільової аудиторії.

Таблиця 6.9 Цільова аудиторія

Параметри	Зміст параметру
Цільова аудиторія	Науковці, підприємці, фермери, воєнні
Географічні критерії	Міста, селища міського типу, польові умови
Соціально-демографічні критерії	25-55 років, підприємницька, фермерська, дослідницька діяльність. Вище середній дохід
Поведінкові критерії	Для задоволення професійних потреб
Психологічні критерії	Низька залежність від соціальних норм і шаблонів

Наступним кроком буде проведення аналізу цільових сегментів за допомогою методики сегментації споживачів (табл. 6.10). Важливість характеристик: А – критично важлива; В – важлива; С – необов’язкова характеристика. «+» / «-» – прийнятно / не прийнятно для споживачів [17].

Таблиця 6.10 Сегментація споживачів

Споживчі характеристики	підприємці		фермери		науковці	
	А,В,С	+/-	А,В,С	+/-	А,В,С	+/-
Ціна	А	+	А	+	В	+
Дизайн	С	+	С	+	С	+
Діапазон вимірювання	В	+	В	+	А	+
Точність вимірювання	В	+	В	+	А	+
Енергоефективність	С	+	В	+	А	



На основі проведених досліджень сформуємо портрет цільового покупця (табл. 6.11).

Таблиця 6.11 Портрет цільового покупця

Хто покупець	Підприємці
Що хочуть купити	Цифрова метеостанція
Мета купівлі	Професійна діяльність
Коли покупець купує продукт	За виконанням потреби
Де покупець бажає придбати продукт	Магазин електроніки
Мета стартапера	Створити відповідний продукт

Наступним етапом є аналіз стратегії просування продукту (табл. 6.12). Стратегія просування продуктів - поєднання різних методів і каналів реклами.

Продвиження будь-якого продукту потребує участі групи професіоналів, вузьких фахівців у різних областях.

Ретельний аналіз при розробці стратегії ефективного просування дозволяє не пропустити жодної важливої деталі.

Маркетингова стратегія просування виявить конкурентні переваги продукту, структуру ринку і тенденції його розвитку, принципи ціноутворення.

На основі стратегії просування послуг буде встановлений і обґрунтований спосіб цінового позиціонування.

При розробці стратегії просування продукту чи бренду на ринок будуть визначені можливості конкурентів, відносини компанії з клієнтами та партнерами, аналіз сильних і слабких сторін компанії [17].

Таблиця 6.12 Аналіз стратегії просування товару

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Особлива увага приділяється діапазону та кількості показників вимірювання виробу	Соціальні мережі, веб-сайт	Широкий діапазон вимірювання, автономна система живленн	Привернути увагу до товару	Опис технічних характеристик та переваг

Після визначення потенційних сегментів клієнтів ми проведемо аналіз ринкового середовища. Вивчення ринкової кон'юнктури у процесі планування продажів розпочинається з аналізу продажів за попередній період. Основними метою цього аналізу є пошук можливостей для максимального задоволення покупців та клієнтів. Аналіз конкуренції на ринку представлено в таблиці 6.13.

Таблиця 6.13 Аналіз ринкового середовища

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Тип конкуренції – олігополія	На ринку працює кілька продавців, які реагують на дії один одного.	Будь-яка стратегія повинна бути спрямована на урахування конкурентів та їх можливих дій.
За рівнем конкурентної боротьби – національний	Виробники у різних країнах світу	Аналіз продукції різних виробник

Подовження таблиці 6.13

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
За галузевою ознакою – внутрішньогалузев	Конкуренція між виробниками однієї галузі за кращі умови виробництва та продажу товарів.	Зменшення індивідуальної вартості
Конкуренція за видами товарів – товарно видова	Конкуренція між товарами одного виду	Покращення технічних характеристик виробу
За характером конкурентних переваг – цінова	Зменшення витрат виробництва, зниження цін на товари і послуги без істотної зміни їх якості й асортименту	Оптимізація цін
За інтенсивністю – марочна	Використання марочної політики	Створення власного торгового знаку

При аналізі обсягів продажів, важливо встановити не лише кількісні значення відповідних показників, але й виявити причинно-наслідкові зв'язки, що дозволяють оцінити вплив різних факторів на ефективність продажів.

Стартап був проаналізований на конкурентоспроможність порівняно з прямими та потенційними конкурентами (таблиця 6.14).

Розробка концепції маркетингового дослідження в цій сфері включає такі етапи аналізу діяльності конкурентів: виявлення основних конкурентів; аналіз конкуренції на ринку – виявлення основних параметрів конкуренції; дослідження цінової та

товарної пропозиції конкурентів; вивчення каналів збуту; аналіз стратегії конкурентів.

Таблиця 6.14 Аналіз конкурентно спроможності

Складові аналізу	Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	LaCrosse FanJu Gaqqee TFA	Dalvey	Вигідні умови постачання	Середній фактор сили споживачів	Несуттєві
Висновки	Середня інтенсивність конкуренції	Невелика кількість потенційних конкурентів	Постачальники не диктують умови праці на ринку	Клієнти звертають увагу на технічні і цінові характеристики продукту	Обмежень немає

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок щодо можливості працювати на ринку у зв'язку з конкурентною ситуацією. Було проаналізовано можливий вплив конкурентів на стартап (табл. 6.15).

Таблиця 6.15 Аналіз впливу

№	Назва підприємства	Підтримка	Частка ринку	Висновок, щодо впливу
1	TFA	Висока	20%	Середній

2	LaCrosse	Висока	20%	Середній
3	FanJu	Середня	10%	Низький
4	STM	Середня	5%	Низький

Був здійснений порівняльний аналіз переваг та недоліків стартапу порівняно з конкурентами (таблиця 6.16).

Таблиця 6.16 – Порівняльний аналіз стартапу

№	Фактор конкурентоспроможності	Бал(1-20)	Рейтинг товарів- конкурентів порівняно з ключовими конкурентами						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Діапазон вимірювання	16	13	14	15	16	17	18	19
2	Точність вимірювання	15	12	13	14	15	16	17	18
3	Ціна	12	9	10	11	12	13	14	15

Загальний підсумковий аналіз ключових конкурентів у порівнянні із стартап-проектом наведено у табл. 6.17.

Таблиця 6.17 Загальний аналіз конкурентів

Критерій оцінювання	TFA	LaCrosse	Стартап
Ключові/унікальні властивості продукту	Широкий діапазон вимірювання, висока точність	Середній діапазон вимірювання і точність	Високий діапазон вимірювання і точність, 5 показників вимірювання
Рівень технології	однаковий	однаковий	Однаковий
Наявність патентів	Захищений патентами	Захищений патентами	Захищений патентами
Наявність бренду	+	+	-

Доступ до обмежених ресурсів	+	+	-
Точки співпраці з аудиторією	+	+	+

Продовження таблиці 6.17

Критерій оцінювання	TFA	LaCrosse	Стартап
Мережа взаємодії з клієнтом	+	+	+
Обсяг ринку	12 тис	14 тис	54 тис
Ціна продукту, грн	2590	2450	2550

В результаті проведеного аналізу можна сформулювати матрицю конкурентів, яка виглядає наступним чином (табл. 6.18)

Таблиця 6.18 Матриця конкурентів

	Прямі конкуренти	Опосередковані конкуренти
Сильні конкуренти	TFA	LaCrosse
	Конкурент є загрозою для майбутнього бізнесу. Необхідна стратегія щодо активних дій з залучення клієнтів та захисту наявних	Конкурент є загрозою для майбутнього бізнесу. Необхідна стратегія щодо активних дій з залучення клієнтів та захисту наявних
Слабкі конкуренти	FanJu	Gaggee

	Конкурент є джерелом зростання майбутнього бізнесу. Необхідні програми, спрямовані на залучення клієнтів цих компаній.	Конкурент не є загрозою для майбутнього бізнесу
--	--	---

### 6.5 Аналіз SWOT для стартапу, стратегія реклами, та оцінка вартості.

Останнім етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу. Це включає виділення сильних та слабких сторін, загроз та можливостей на основі ринкових факторів.

Ринкові загрози та можливості визначаються на основі аналізу маркетингового середовища і мають певну ймовірність здійснення. SWOT-аналіз допомагає визначити альтернативи ринкової поведінки та оптимальний час ринкової реалізації, враховуючи конкурентів. Також були проаналізовані сильні та слабкі сторони стартап-проекту (табл. 6.19).

Таблиця 6.19 Аналіз сильних та слабких сторін стартапу

Ключові фактори	Краще ніж у конкурентів	Гірше ніж у конкурентів
Діапазон вимірювання	Широкий діапазон вимірювання	-
Точність вимірювання	Вища точність вимірювання	-
Ціна	-	-
Дизайн виробу	-	Більш простий дизайн

Енергоефективність	-	Гірша енергоефективність
--------------------	---	--------------------------

Після визначення потенційних груп клієнтів необхідно проаналізувати ринкове середовище, складаючи таблиці факторів, які сприяють впровадженню проекту на ринок, а також тих, які ускладнюють цей процес (таблиця 6.20).

Таблиця 6.20. Аналіз ринкового середовища загроз і можливостей

Можливості		Загрози	
Зміст	Потенціал застосування	Зміст	Спроможність нівелювання
Нові споживачі на існуючих ринках: охоплення нових цільових груп	Є потенціал застосування	Зміна переваг, цінностей і стилю життя споживачів, що активізує відмову від продукту стартапу	Розробка маркетингової стратегії
Можливості із збільшення частоти використання продукту споживачами	Є потенціал застосування	Підвищення ймовірності відмови від товарів не першої необхідності	Немає засобів нівелювання ризику



Розвиток технологій	Є потенціал застосування	Втрата конкурентних переваг (патентної переваги) за відкритого доступу до технології	Немає засобів нівелювання ризику
Зростання купівельної спроможності	Малоймовірний потенціал	Зниження купівельної спроможності, підвищення чутливості до ціни.	Нівелювання за рахунок зниження собівартості продукції

Продовження таблиці 6.20

Вихід великих гравців з ринку, покращення конкурентного середовища	Малоймовірний потенціал	Вхід великих гравців, зростання низьковартісних пропозицій конкурентів	Нівелювання за рахунок підвищення якості продукції
--	-------------------------	--	--

За результатами попередніх кроків було виконано SWOT-аналіз стартап-проєкту (табл. 6.21).

Таблиця 6.21 SWOT-аналіз

	Сильні сторони 1. широкий діапазон 2. висока точність	Слабкі сторони 1. енергоефективність 2. дизайн
--	---	--

<p>Можливості</p> <p>1. Розвиток технологій</p> <p>2. Зростання купівельної спроможності</p>	<p>Вироблення продукту з найбільшими показниками точності та найширшим діапазоном вимірювання</p>	<p>Використання акумуляторів більшої ємності, заміна матеріалу корпусу на більш якісний</p>
<p>Ризики</p> <p>1. Зниження купівельної спроможності</p> <p>2. Зростання низьковартісних пропозицій</p>	<p>Зниження собівартості продукції, акцентування уваги на технічних перевагах продукції</p>	<p>Розробка якісної маркетингової стратегії</p>

Були визначені базові стратегії конкурентної поведінки та стратегії позиціонування стартапу (табл. 6.22).

Таблиця 6.22 Визначення стратегії конкурентної поведінки

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
Ні	Так	Дизайн, систему живлення	Наступальна позиція

За результатами попередніх кроків була визначена стратегія позиціонування стартапу (табл. 6.23).

Таблиця 6.23 Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару	Базова стратегія розвитку	Ключові позиції стартап-проект	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
Високий рівень технічних характеристик	Стратегія концентрованого зростання	Діапазон вимірювання, точність вимірювання	Висока точність Доступність Простий дизайн

Результатом аналізу відділу є узгоджена система рішень щодо ринкової поведінки стартап-проекту, яка визначає напрями роботи стартап-проекту на ринку. Наступним етапом є розроблення маркетингової концепції продукту, який спрямований на споживача. Для цього підсумовуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності продукту. Концепція маркетингових комунікацій представлена в (таблиці 6.24).

Таблиця 6.24 Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Звертають увагу на технічні характеристики / ціну	Соціальні мережі, веб-сайт, інтернет реклама, магазини електроніки	Веб-сайт, соціальні мережі	Привернути увагу до товару	Акцентування уваги на технічних характеристиках товару

Тепер можна визначити маркетинговий бюджет стартапу та розрахувати приблизну вартість (табл. 6.25)

Таблиця 6.25 Аналіз маркетингового бюджету

Складова бюджету	Загальна характеристика	Приблизний обсяг витрат, грн
Витрати на маркетингові дослідження	Створення маркетингової стратегії	10000
Канали просування	Веб-сайт, соц. мережі	30000
Канали дослідження	Онлайн магазин	12000

За результатами попередніх пунктів було розроблено загальний план маркетингу (див. табл. 6.26). План маркетингу є ключовим інструментом впровадження маркетингової стратегії підприємства, задоволення поточного попиту та майбутніх потреб цільового ринку. Він узгоджує цілі ринкової діяльності та шляхи їх досягнення.

Таблиця 6.26 Загальний план маркетингу

№	Назва розділу	Елементи наповнення
1.	Цілі і завдання на найближчий рік	Вхід на ринок; переманювання клієнтів конкурентів; активна маркетингова компанія просування продукції онлайн або оффлайн.
2.	Місія та цінності стартапу	Стартап створює цифрову метеостанцію, яка буде проводити моніторинг і вимірювання 5-ти погодних чинників. Матиме високі технічні характеристики та нижчу ціну ніж у аналогів конкурентів. Додатково метеостанція матиме власну напівавтономну систему живлення та може працювати у віддалених, важкодоступних місцях.

3.	Цільова аудиторія	Підприємці, фермери, науковці-дослідники, метеозалежні люди
4.	Переваги	Широкий діапазон вимірювання, висока точність, ціна нижча ніж у аналогів, додаткова напівавтономна система живленн
5.	Стратегія позиціонування	Позиціонування по споживачу
6.	План просування	Просування через соціальні мережі, веб сайти
7.	Маркетингові активи	Власні кошти
8.	Конверсійна стратегія	Акцентування уваги на доступності ціни і високих технічних характеристиках
9.	Спільні підприємства та партнерство	Співпраця з постачальниками сировини та комплектуючих

№	Назва розділу	Елементи наповнення
10.	План збільшення продажів	Розробка якісної маркетингової стратегії
11.	Фінансові прогнози	Прогнозований термін окупності проекту 1 рік

У результаті була розроблена маркетингова програма, що включає концепції товару, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, збуту, ґрунтується на потребах та цінностях потенційних клієнтів, основні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено стартап.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 6

В розділі було викладено опис продукту та ідеї стартапу, створено карту інформації.

Проведено технологічний аудит ідеї проекту та проаналізовано ринкові можливості та загрози, які можуть ускладнити його впровадження.

Здійснено аналіз цільової аудиторії та проведений сегментувальний аналіз для більш детального визначення.

Розроблено SWOT-аналіз стартапу, стратегію його просування та маркетингову програму. Проведено аналіз сильних та слабких сторін стартапу, загроз та можливостей. Визначено бюджет маркетингу та загальну вартість стартапу.

За результатами проведених досліджень можна сказати, що на сьогоднішній день на ринку наявна невелика кількість прямих комерційних конкурентів. Попит на розроблювану продукцію зростає. Тому розробка цифрової метеорологічної станції є перспективною та рентабельною, оскільки собівартість продукції є досить низькою завдяки використанню дешевих компонентів та наявності кількох переваг у порівнянні з конкурентами. Серед потенційних клієнтів є як фірми-виробники електроніки, так і безпосередні користувачі, тому попит на використання метеостанцій буде зростати.

## ВИСНОВОК

Детальний аналіз сучасного ринку цифрових метеорологічних станцій дозволяє визначити значне різноманіття пристроїв, але виявляє проблеми щодо точності та діапазону вимірювань. Зокрема, існуючі прилади можуть не завжди відповідати вимогам метеорологічних досліджень, особливо в умовах віддалених та важкодоступних місць. Огляд підкреслює необхідність розробки нової метеорологічної станції, яка забезпечить високу точність та універсальність вимірювань у різних кліматичних умовах. Такий новаторський підхід до розробки метеостанції сприятиме подальшому розвитку метеорологічних досліджень, забезпечуючи ефективні і точні засоби вимірювань.

Детальний аналіз сучасного ринку цифрових метеорологічних станцій дозволяє визначити значне різноманіття пристроїв, але виявляє проблеми щодо точності та діапазону вимірювань. Зокрема, існуючі прилади можуть не завжди відповідати вимогам метеорологічних досліджень, особливо в умовах віддалених та важкодоступних місць. Огляд підкреслює необхідність розробки нової метеорологічної станції, яка забезпечить високу точність та універсальність вимірювань у різних кліматичних умовах. Такий новаторський підхід до розробки метеостанції сприятиме подальшому розвитку метеорологічних досліджень, забезпечуючи ефективні і точні засоби вимірювань.

Ефективність метеостанції у роботі в екстремальних погодних умовах зумовлена міцною конструкцією, використанням високоякісних матеріалів та регулярним калібруванням. Опрацювання даних показує покращення точності на суму коефіцієнта "E" у розрахунку відсотків покращення точності. Застосування методів для підвищення точності вимірювань, таких як стабілізаторна схема та компенсація температурних змін, виправдали себе в умовах практичного використання. Загальне покращення точності вимірювань дозволяє досягти бажаного результату та сприяє успішному впровадженню нових рішень у метеорологічних дослідженнях.

Були експериментально визначені похибки вимірювання первинних перетворювачів та запропоновані способи їх зменшення. Розраховане значення вірогідності вимірювального контролю швидкості вітро-вого потоку. У дослідженні покращення точності метеостанції було наведено числові ро-зрахунки, які дозволяють перетворити аналоговий сигнал, отриманий від датчика, на конкретний вимірюваний параметр. Розглянуті формули визначають мінімальні та максимальні значення вихідної напруги, конвертують їх в числові одиниці та визначають, як ці числа відповідають параметру виміру. За допомогою вказаних розрахунків шляхом експерименту можна покращити точність вимірювання параметрів метеостанції.

Авторські пропозиції зі зменшення похибок вимірювань використовують практичні методи і перевірені підходи, враховуючи специфіку роботи метеорологічних перетворювачів.

Розрахована вірогідність вимірювального контролю швидкості вітрового потоку створює підґрунтя для визначення надійності та стабільності вимірювань в цьому параметрі.

Числові розрахунки, представлені у дослідженні, демонструють можливість перетворення аналогового сигналу вимірювача у конкретний вимірюваний параметр. Описані формули визначають мінімальні та максимальні значення вихідної напруги, що сприяє подальшій конвертації їх у числові одиниці, роблячи вимір досліджуваного параметра чітким та легким у розумінні.

Отримані результати вказують на можливість покращення точності вимірювань метеостанції через вдосконалення роботи первинних перетворювачів та застосування оптимізованих методів конвертації сигналів. Це важливий крок у напрямку досягнення поставленої мети дослідження - підвищення точності метеорологічних вимірювань.

Дослідження та розробка нової метеорологічної станції є важливим кроком у напрямку поліпшення точності та універсальності вимірювань метеорологічних параметрів. Застосування інноваційних методів, таких як стабілізаторні схеми та компенсація температурних змін, виявилось ефективним у досягненні високої точності вимірювань. Розробка нових технологій та вирішення виявлених проблем



метеорологічних станцій відкриває шлях до подальшого розвитку метеорологічних досліджень і впровадження нових стандартів у галузі метрології.

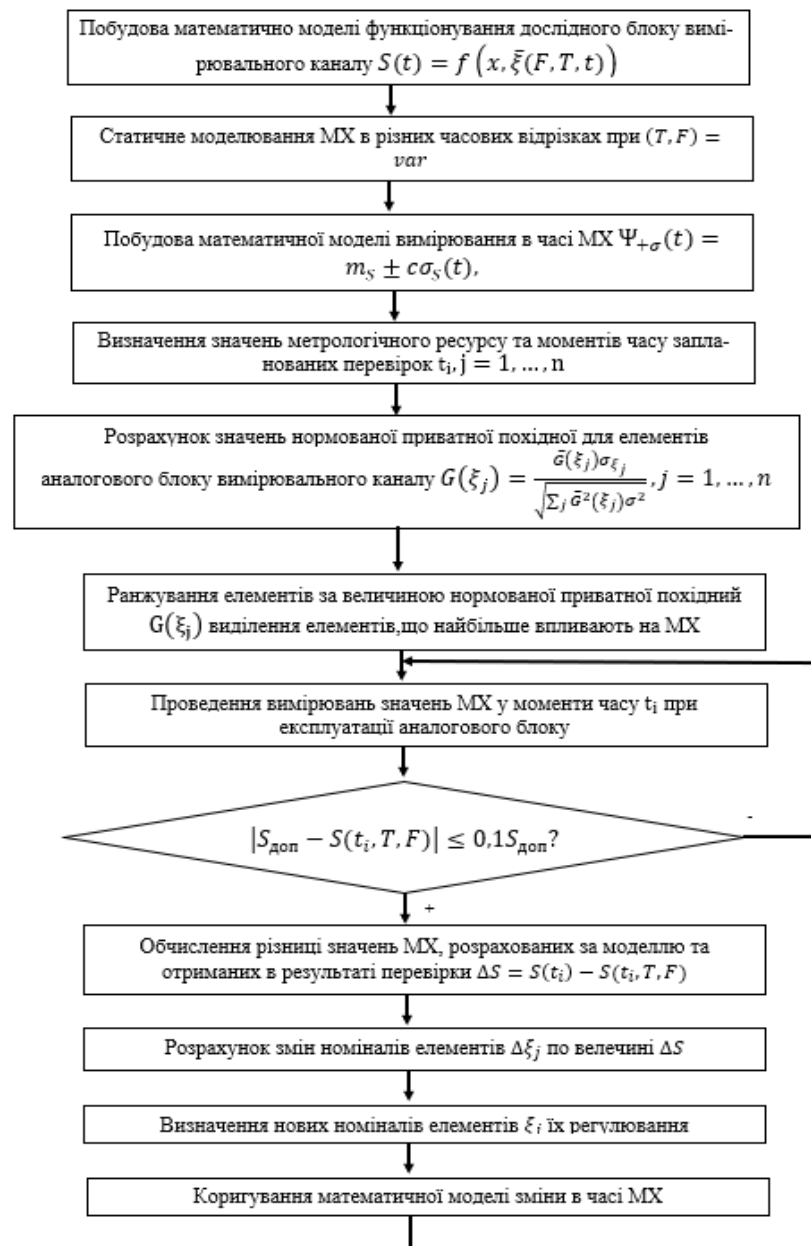
За результатами проведених досліджень можна сказати, що на сьогоднішній день на ринку наявна невелика кількість прямих комерційних конкурентів. Попит на розроблювану продукцію зростає. Тому розробка цифрової метеорологічної станції є перспективною та рентабельною, оскільки собівартість продукції є досить низькою завдяки використанню дешевих компонентів та наявності кількох переваг у порівнянні з конкурентами. Серед потенційних клієнтів є як фірми-виробники електроніки, так і безпосередні користувачі, тому попит на використання метеостанцій буде зростати.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

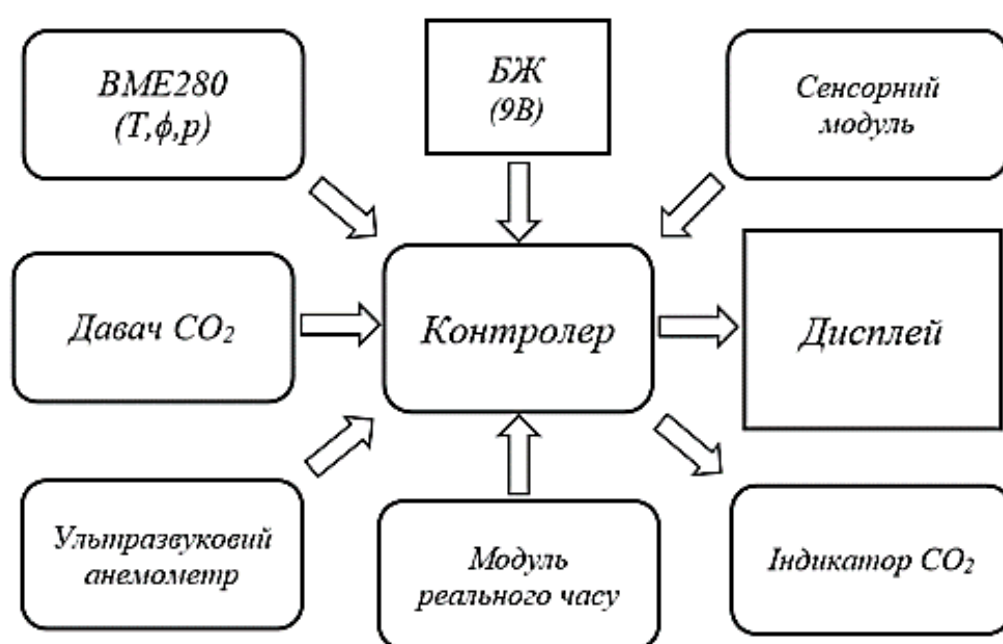
1. Нама EWS-800 — [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://tsifra.by/meteostantsija-hama-ews-800> — Назва з екрану
2. FA-2460 — [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://irecommend.ru/content/meteostantsiya-first-fa-2460> — Назва з екрану.
3. TFA-602527 — [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https:// m.ua/desc/tfa-602527/](https://m.ua/desc/tfa-602527/) — Назва з екрану.
4. Вимірювальні перетворювачі (сенсори) Поліщук Є.С., Ванько В.М., Львівська політехніка — 2015 р., 584 ст.
5. Види анемометрів — [Електронний ресурс]. Режим доступу: Анемометр — прилад для визначення швидкості та напрямку руху потоку ([simvolt.ua](http://simvolt.ua)) — Назва з екрану.
6. Посібник користувача Vaisala WINDCAP Ultrasonic. Датчик вітру серії WMT700 – URL: <https://www.vaisala.com/ru/lp>
7. ISSN 0136-5835. Відувач ТДТУ. Чернишова Т.І., Дмитрієв О.С., "Оцінка та підвищення сетрологічної надійності вимірювальних засобів у реальних умовах експлуатації" - 2009 р., тому 15;
8. ГОСТ 16019-2001 Вимоги щодо стійкості до впливу механічних та кліматичних факторів та методи випробувань. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <http://docs.cntd.ru/document/gost16019-2001> - Назва з екрану.
9. Чернишова, Т.І. Прогнозування метрологічної надійності електронних вимірювальних засобів з урахуванням вологості / Т.І. Чернишова, М.І. Ністратов // Проектування та технологія електрон. коштів. – 2007. – № 1. – С. 68-72
10. Міщенко, С.В. Метрологічна надійність вимірювальних засобів/С.В. Міщенко, Е.І. Цветков, Т.І. Чернишова. – М: Машинобудування, 2001 – 218с.
11. Єрмаков М.С. Розробка алгоритму визначення параметрів вітру ультразвуковим методом // «Automation of control processes» № 3 (49) 2017.

12. ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. чинний з 1995.07.01. – К.: Держспоживстандарт України, 1994. – 75 с.
13. Фрумкін В.Д. Достовірність контролю засобів радіовимірювань та контрольні допуски / В.Д. Фурумкін, Н.А. Рубічов // - М.: Видавництво стандартів, 1975. - 88 с.
14. Основи метрології та теорії точності вимірювальних пристроїв: навч. посібник/В.П. Коротков, Б.А. Тайці; - М.: Видавництво стандартів, 1978, 352 с.
15. Віглеб Г. Датчики: Пер. з нем. - М.: Світ, 1989. - 196 с, іл.
16. Основи метрології та теорії точності вимірювальних пристроїв: навч. посібник/В.П. Коротков, Б.А. Тайці; - М.: Видавництво стандартів, 1978, 352 с.
17. Войтко С.В., Корогодова О.О., Левицька Т.В., Любимова К.О «Методичні вказівки до виконання організаційно-економічного розділу дипломних проектів для студентів приладобудівного факультету» – Факультет менеджменту та маркетингу, 2006р – 20 с.
18. Розробка стартап проекту — [Електронний ресурс]. Режим доступу: 312.pdf - Назва з екрану.
19. Оцінювання сегментів ринку [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: Оцінювання сегментів ринку, Вибір сегментів ринку (вибір цільового ринку) - Маркетинг - Навчальні матеріали онлайн (pidru4niki.com)

ДОДАТОК А «Блок-схема методу підвищення метрологічного ресурсу»



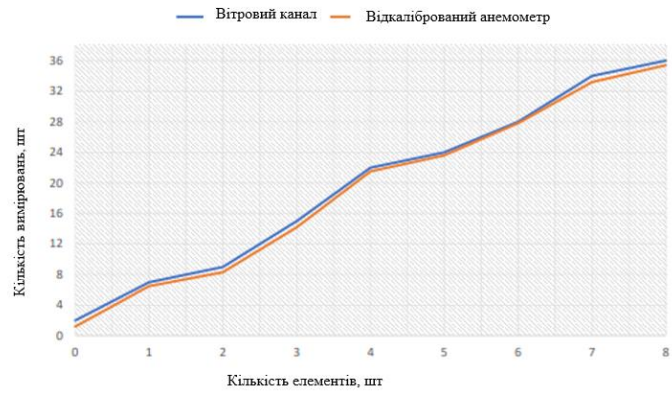
ДОДАТОК Б «Структурна схема пристрою»



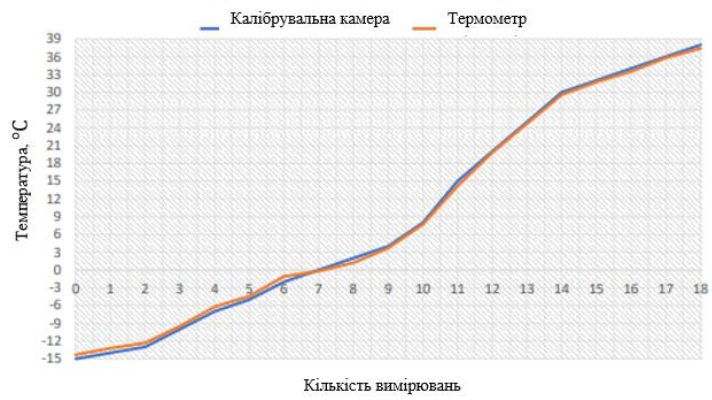
ДОДАТОК В «Результати калібрування»



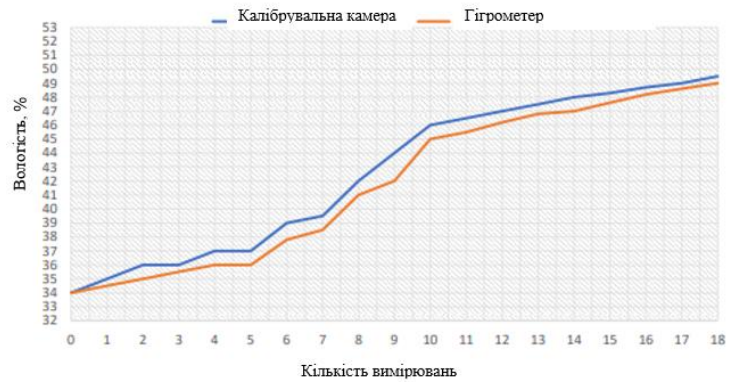
Порівняльна діаграма відкаліброваного анеометра



Порівняльна характеристика температури



Порівняльна характеристика вологості



ДОДАТОК Г «Схема стабілізатора»

