

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
(повне найменування факультету)

Кафедра обчислювальної техніки
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка
до магістерської кваліфікаційної роботи
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Метод і засоби вимірювання температури середовища

Виконала: студентка 2 курсу, групи
2КІ-18м

напряму підготовки (спеціальності)
123 – «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Андрієвська В. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник К. Т. Н., доц. Гарнага В. А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Карпинець В. В.

(прізвище та ініціали)

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет: Інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії

Кафедра: Обчислювальної техніки

Освітньо – кваліфікаційний рівень: магістр

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

д.т.н., проф. Мартинюк Т.Б.

_____ “2” жовтня 2019 року

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ

Андрієвській Вікторії Віталіївні

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи: «Метод і засоби вимірювання температури середовища»

Керівник роботи: Гарнага Володимир Анатолійович, к. т. н., доцент кафедри ОТ

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

Затверджені наказом вищого навчального закладу від “___” _____ 20__ року
№ _____

2. Строк подання студентом роботи «___» _____ 20__ року

3. Вихідні дані до роботи: апаратно-обчислювальна платформа Arduino Uno, мова програмування C++, середовище розробки Arduino.

4. Зміст пояснювальної записки: огляд та дослідження методів і засобів вимірювання температури середовища, визначення їх переваг і недоліків та порівняння; розробка дослідного зразку пристрою для без інерційного вимірювання температури та його конструкції, вибір елементної бази та написання лістингу програми для керування та збору даних.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): структурна схема пристрою, принципова схема плати Arduino Uno, розпіновка плати на базі мікроконтролера ATmega328, .

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічний розділ	Гарнага Володимир Анатолійович, к. т. н., доцент кафедри ОТ		
Економічний розділ	Глущенко Лариса Дмитрівна, к. т. н., доцент кафедри економіки підприємства і виробничого менеджменту		

7. Дата видачі завдання: _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Постановка задачі дослідження	07.10.2019 р.	виконано
2.	Огляд та аналіз методів і засобів вимірювання температури	16.10.2019 р.	виконано
3.	Порівняння методів вимірювання температури, і дослідження ультразвукового методу вимірювання температури	17.10.2019 р.	виконано
4.	Аналіз та вибір технології розробки	22.10.2019 р.	виконано
5.	Розробка функціональної структури пристрою і вибір елементної бази	30.10.2019 р.	виконано
6.	Створення дослідного зразка пристрою	14.11.19 р.	виконано
7.	Створення програми-прошивки	22.11.19 р.	виконано

Студент

(підпис)

Андрієвська В. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник магістерської дипломної роботи

(підпис)

Гарнага В. А.

(прізвище та ініціали)

Метод і засоби вимірювання температури середовища

Андрієвська Вікторія Віталіївна

Гарнага Володимир Анатолійович

ІКІ-18м

Реферат

Дана магістерська кваліфікаційна робота присвячена дослідженню засобів вимірювання температури та дослідження можливості вимірювання температури за допомогою ультразвукових хвиль.

Дослідження полягає у детальному розгляді найбільш популярних засобів вимірювання температури як контактних так і безконтактних, їх порівняння. Вимірювання температури за допомогою ультразвуку полягає у вимірюванні швидкості проходження сигналу від передавача до приймача. Оскільки існує фізична залежність швидкості розповсюдження звукової хвилі від температури, вологості, тиску, то знаючи відстань між передавачем і приймачем можна програмно вирахувати температуру середовища.

У дипломній роботі досліджено та розроблено: контактні та безконтактні методи вимірювання температури, метод ультразвукового вимірювання температури, пристрій для вимірювання температури за допомогою ультразвуку.

Abstract

This master's qualification is dedicated to the study of temperature measurement tools and the study of the possibility of measuring temperature using ultrasonic waves.

The study is a detailed examination of the most popular means of measuring the temperature of both contact and non-contact, and their comparison. Measurement of temperature by means of ultrasound is to measure the speed of transmission of the signal from the transmitter to the receiver. Since there is a physical dependence of the speed of propagation of the sound wave on temperature, humidity, pressure, knowing the distance between the transmitter and the receiver can be programmed to calculate the ambient temperature.

In diploma work researched and developed: contact and contactless methods of temperature measurement, method of ultrasonic temperature measurement, device for measuring temperature by means of ultrasound.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ	10
1.1 Методи вимірювання температури	10
1.1.1 Контактні методи вимірювання температури.....	12
1.1.2 Безконтактні методи вимірювання температури.....	17
1.2 Пірометри часткового випромінювання.....	18
1.3 Пірометри повного випромінювання (радіаційні пірометри)	20
1.4 Пірометри спектрального співвідношення (колірні пірометри).....	21
1.5 Тепловізори.....	23
1.6 Ультразвукове вимірювання температури	26
1.7 Порівняння методів вимірювання температури	27
2 РОЗРОБКА МЕТОДУ ТА МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ.....	30
2.1 Розробка методу ультразвукового вимірювача температури середовища	30
2.2 Вибір апаратної платформи	31
2.3 Дослідження ультразвукових сенсорів температури	40
2.3.1 Ультразвукові датчики з одним модулем.....	43
2.3.2 Ультразвукові датчики з двома модулями	44
2.3.3 Вибір ультразвукового датчика.....	46
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	49
3.1 Підключення ультразвукового датчика до Arduino.....	49
3.2 Експериментальні дослідження.....	53
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	61

					08-23.МКР.018.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Метод і засоби вимірювання температури середовища	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Андрієвська В. В.						
Перевір.		Гарнага В. А.					6	
Реценз.		Карпінєць В. В.				ВНТУ гр. 2КІ-18м		
Н. Контр.		Швець С. І.						
Затверд.		Мартинюк Т.Б.						

4.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки.....	61
4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної, дослідно конструкторської та конструкторсько-технологічної роботи	67
4.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки	72
4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності	73
ВИСНОВКИ.....	77
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	78
ДОДАТКИ.....	80

					08-23.МКР.018.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Як правило, кожна галузь виробництва та його устаткування потребує безперервного контролю. Високопродуктивна, економічна і безпечна робота технологічних агрегатів будь-якої промисловості вимагає сучасних методів і засобів вимірювання величин, які характеризують хід виробничого процесу і стан обладнання. А саме вимірювання температури, яке допомагає виявити пошкоджені вузли та ліквідувати наслідки.

Без вимірювальної інформації не може обійтися жодне наукове дослідження. На даний момент, існує безліч невирішених суттєвих проблем, вирішення яких дало б можливість підвищити точність і надійність важливих експериментів.

Температурні вимірювання мають важливе значення для розвитку пріоритетних галузей народного господарства. В даний час також приділяється велика увага до умов зберігання і транспортування вантажів. Це пов'язано з тим, що існує велике число різних типів вантажів, які повинні зберігатися при певних умовах. Особливо це питання актуальне для місць зберігання і транспортування харчових продуктів. Проте не у всіх випадках можна використати традиційні методи вимірювання температури (термометр), це пов'язано з різними вимогами до точності вимірювання, діапазону температур, швидкодії, тощо.

Як бачимо вимірювання температур поряд з вимірами інших величин має досить важливе значення в науці і техніці. Тому найбільш поширеною проблемою, яка виникає при вимірюванні температури є низька точність, недостатня швидкодія, побічні фактори, які впливають на точність, та не надійність засобів вимірювання температури.

Актуальність розробки пристрою для без інерційного вимірювання температури середовища ультразвуком підтверджується важливістю та необхідністю вимірювання температури в місцях виробництва, які потребують високої швидкості вимірювання та не допускають інерційності цих вимірювань.

Предметом дослідження є процеси і засоби вимірювання температури та ультразвуковий метод вимірювання температури середовища.

Об'єктом дослідження є процеси вимірювання температури навколишнього середовища. Передбачається розгляд безконтактних методів вимірювання температури та їх складності реалізації.

Метою роботи є розроблення концепції та створення недорогого та універсального ультразвукового без інерційного пристрою для вимірювання температури середовища безконтактним методом.

Для досягнення поставленої мети слід виконати наступні завдання:

- 1) здійснити огляд та аналіз методів вимірювання температури;
- 2) порівняти розроблений пристрій з існуючими аналогами, враховуючи переваги та недоліки;
- 3) розробити структурну та функціональну схеми пристрою;
- 4) здійснити вибір елементної бази розробки;
- 5) розглянути опис існуючих пристроїв вимірювання температури;
- 6) промодельовати реалізацію пристрою;
- 7) розробити схему електричну принципову та перелік елементів.

Наукова новизна полягає в тому, що подальшого розвитку набув метод безконтактного вимірювання температури з використанням без інерційних ультразвукових датчиків, розроблений дослідний зразок пристрою відрізняється від існуючих конструктивним виконанням, що дає змогу підвищити універсальність пристрою, та його точність.

Апробація результатів магістерської роботи була здійснена у процесі конференції «XLVIII Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету, факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії (2019)» (Вінниця, 2019).

1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

1.1 Методи вимірювання температури

Для визначення температури будь-якого тіла необхідно обрати еталон температури, тобто тіло, яке при певних, рівноважних та досить легко відтворюваних, умовах мало б визначене значення температури. Це значення температури є початковою точкою відповідної шкали температур – впорядкованої послідовності значень температури, яка дозволяє кількісно визначати температуру того чи іншого об'єкту. Температурна шкала дозволяє опосередковано визначати температуру тіла шляхом прямого вимірювання якого – небудь його фізичного параметра, який залежить від температури [1].

Найчастіше для отримання шкали температур використовуються властивості води. Точки танення льоду та кипіння води при нормальному атмосферному тиску обрані в якості початкових точок в сучасних температурних шкалах, які були запропоновані Андресом Цельсієм (1707-1744), Рене Антуаном Фершо Реомюром (1683-1757), Даніелем Гарбіелем Фаренгейтом (1686-1736). Останній з них створив перший практично придатний спиртовий та ртутний термометри, які широко застосовуються і у наш час. Температурні шкали Реомюра і Фаренгейта застосовуються у наш час в США, Великобританії і деяких інших країнах.

В 1742 році було введено температурну шкалу Цельсія, в якій було запропоновано температурний інтервал між температурами танення льоду і кипіння води при нормальному атмосферному тиску (1 атм або 101 325 Па) розділити на 100 рівних частин (градусів Цельсія). Вона застосовується і сьогодні у більшості країн світу, проте дещо скорегована, де один градус Цельсія вважається рівним одному кельвіну. При цьому береться температура танення льоду рівною 0 °С, а температура кипіння води становить приблизно 99,975 °С. Виникаючі при цьому поправки, як правило, не мають суттєвого значення, так як більшість спиртових, ртутних і електронних термометрів не мають достатньої точності (оскільки в цьому немає необхідності). Це дозволяє не враховувати вказані, дуже не значні поправки.

Після введення Міжнародної системи одиниць (СІ) до застосування рекомендовано дві температурні шкали. Першою є термодинамічна шкала, яка не залежить від властивостей речовини, що використовується (робочого тіла) і вводиться за допомогою циклу Карно. В цій температурній шкалі одиницею вимірювання температури є один кельвін (1К), одна з семи основних одиниць в системі СІ. Названа ця одиниця на честь англійського фізика Вільяма Томсона (лорда Кельвіна) (1824-1907), який розробив цю шкалу і зберіг величину одиниці вимірювання температури такою ж, як в температурній шкалі Цельсія. Другою рекомендованою температурною шкалою є міжнародна практична. Ця шкала має 11 початкових точок – температури фазових переходів ряду чистих речовин, при чому значення цих температурних точок постійно уточнюються. Одиницею вимірювання температури в міжнародній практичній шкалі також є 1К.

В наш час як і термодинамічна шкала так і міжнародна практична шкала за основну початкової точки температур беруть потрійну точку води. Ця точка відповідає певним значенням температури і тиску, при яких вода може одночасно існувати в твердому, рідкому і газоподібному стані. При чому якщо стан термодинамічної системи визначається тільки значенням температури і тиску, то потрійна точка може бути тільки одна. В системі СІ температури потрійної точки води дорівнює 273,16 К при тиску 609 Па.

Крім задання початкових точок, які визначаються за допомогою еталону температури, необхідно вибрати термодинамічну властивість тіла, яка описується фізичною величиною, зміна якої є ознакою вимірювання температури або термометричною ознакою. Ця властивість повинна бути достатньо легко відтворюваною, а фізична величина має бути легко вимірюваною. Якщо змінити вказану фізичну величину, то можна отримати набір температурних точок (і відповідні їм значення температур), проміжних між крайніми точками.

Тіло, за допомогою вимірювання термометричної ознаки якого відбувається вимірювання температури, називається термометричним тілом.

Термометричними ознаками можуть бути зміни об'єму газу або рідини, електричного опору тіл, різниці електричного потенціалу на межі розділу двох провідників і т. д. Відповідні цим ознакам прилади для вимірювання температури (термометри) будуть: газові або ртутні, термометри, що використовують в якості датчика термоопір або термопару.

За принципом дії всі термометри поділяються на наступні групи:

1. Термометри розширення від -260 до $+700$ °С, в основі лежить принцип зміни об'єму рідин або твердих тіл зі зміною температури.
2. Манометричні термометри від -200 до $+600$ °С, вимірюють температуру в залежності від тиску рідини, пари або газу в замкнутому об'ємі.
3. Термометри електричного опору зазвичай від -270 до $+750$ °С, перетворюють зміну температури в зміну електричного опору провідників або напівпровідників.
4. Термоелектричні термометри (або пірометри), стандартні від -50 до $+1800$ °С, в основі перетворення яких лежить залежність значення електрорушійної сили від температури спаю різнорідних провідників.
5. Пірометри випромінювання від 500 до 100000 °С, вимірюють температуру за значенням інтенсивності променевої енергії, що випромінюється нагрітим тілом.
6. Термометри засновані на електрофізичних явищах від -272 до $+1000$ °С (термошумові, термоелектричні перетворювачі, об'ємні резонансні термоперетворювачі, ядерні резонансні термоперетворювачі).

1.1.1 Контактні методи вимірювання температури

Існують два основних способи вимірювання температур - контактні і безконтактні. Контактні методи засновані на безпосередньому контакті перетворювача температури з об'єктом, температуру якого потрібно виміряти. До переваг такого методу можна віднести високу точність вимірювання температури та простоту використання контактних термометрів.

Газовий термометр постійного об'єму (рисунок 1.1) складається з термометричного тіла – об'єм газу, що знаходиться в резервуарі та з'єднаний за

допомогою трубки з манометром. Вимірювана фізична величина (термометрична ознака), що забезпечує визначення температури, - тиск газу в замкнутому об'ємі. Постійність об'єму досягається тим, що вертикальним переміщенням лівої трубки рівень в правій трубці манометру доводиться до одного і того ж значення (опорної точки) і в цей момент проводиться вимірювання різниці висот рівнів рідини в манометрі. Врахування різних поправок (наприклад, теплового розширення скляних деталей термометра, абсорбції газу і т. д.) дозволяє досягнути точності вимірювання температури газовим термометром постійного об'єму, що дорівнює одну тисячну кельвіна.

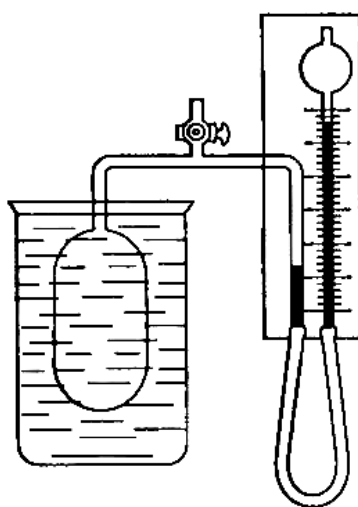


Рисунок 1.1 – Схема газового термометра

Перевагою газових термометрів є те, що температура, яку вони вимірюють, при малій щільності газу не залежить від природи газу, який використовується, а шкала газового термометра – добре співпадає з абсолютною шкалою температур.

Газові термометри використовують для градуювання інших видів термометрів, наприклад рідинних. Вони більш зручні на практиці, але, шкала рідинного термометра, проградуйованого за газовим, виявляється, як правило, не рівномірною. Це пов'язано з тим, що щільність рідин не лінійно залежить від їх температури [5].

Рідинний термометр (рисунок 1.2) – це найбільш розповсюджений у повсякденному житті термометр. Принцип його роботи полягає у зміні об'єму

рідини при зміні її температури. В ртутно-скляному термометрі термометричним тілом є ртуть, якою заповнений скляний капіляр у скляній колбі. Термометричною ознакою є відстань від меніска ртуті в капілярі до випадкової фіксованої точки. Ртутні термометри використовують в діапазоні температур від $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ до декількох сотень градусів Цельсія.

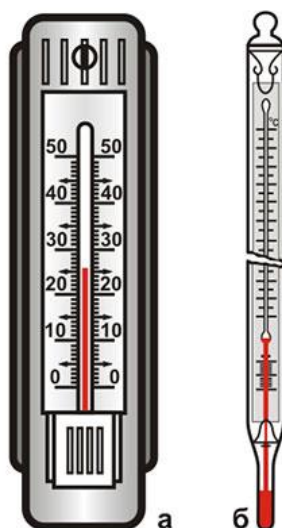


Рисунок 1.2 – Рідинний термометр

а – кімнатний термометр із зовнішньою шкалою; б – лабораторний термометр з вкладеною шкалою, має на шкалі точку $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

При високих температурах (понад $300\text{ }^{\circ}\text{C}$) в капіляр накачують азот (тиск до 100 атм або 107 Па), щоб запобігти кипінню ртуті. Застосування в рідинному термометрі замість ртуті талію дозволяє істотно знизити нижню межу вимірювання температури до $-59\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Іншими видами широко розповсюджених рідинних термометрів є спиртовий (від $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$) і пентановий (від $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$). Воду не можна використовувати в якості термометричного тіла у рідинному термометрі, оскільки об'єм води з підвищенням температури спочатку зменшується, а потім росте.

З розвитком вимірювальної техніки, найбільш зручними технічними видами термометрів стали ті, в яких термометричною ознакою є електричний сигнал – це термоопори (металеві та напівпровідникові) і термопари.

В металевому термометрі вимірювання температури полягає у збільшенні опору металу зі збільшенням температури. Для більшості металів ця залежність близька до лінійної (при кімнатній температурі), а для чистих металів відносна зміна їх опору при підвищенні температури на 1 К (температурний коефіцієнт опору) має величину близьку до $4 \cdot 10^{-3}$ 1/К. Термометричною ознакою є електричний опір термометричного тіла – металевої проволочки. Частіше за все використовують платинову проволочку, а також мідну проволочку чи їх різноманітні сплави. Діапазон застосування таких термометрів від водневих температур (~20 К) до сотень градусів Цельсія. При низьких температурах в металевих термометрах залежність опору від температури стає суттєво нелінійною і термометр потребує ретельного калібрування.

В напівпровідниковому термометрі опору (термісторі) вимірювання температури засноване на явищі зменшення опору напівпровідника зі збільшенням температури. Так як температурний коефіцієнт опору напівпровідників за абсолютною величиною може значно переважати відповідний коефіцієнт металів, то і чутливість таких термометрів може бути значно вищою ніж чутливість металевих термометрів.

Спеціально виготовлені напівпровідникові термоопори можуть використовуватись при низьких (гелієвих) температурах порядку декількох кельвінів. Однак варто врахувати те, що в звичайних напівпровідникових опорах виникають дефекти, обумовлені дією низьких температур. Це призводить до погіршення точності результатів вимірювань і потребує використання в термоопорах спеціально підібраних напівпровідникових матеріалів. Інший принцип вимірювання температури реалізований в термопарах.

Термопара (рисунок 1.3) по суті є електричним контуром, який спаяний з двох різних металевих провідників, один спай яких знаходиться при вимірюваній температурі (вимірювальний спай), а інший (еталонний спай), при відомій температурі, наприклад при кімнатній. Через різницю температур спаїв виникає електрорушійна сила (термо-ЕРС), вимірювання якої дозволяє

визначати різницю температур спаїв, а відповідно, температуру вимірювального спаю [8].

В такому термометрі термометричним тілом є спай двох металів, а термометричною ознакою – виникаюча в колі термо-ЕРС. Чутливість термопар складає від одиниць до сотень мкВ/К, а діапазон вимірюваних температур від декількох десятків кельвінів (температури рідкого азоту) до півтори тисячі градусів Цельсія. Для високих температур використовуються термопари з благородних металів. Найбільшого поширення набули термопари на основі спаїв наступних матеріалів: мідь – константан, залізо – константан, хромель – алюмель, платинородій – платина.

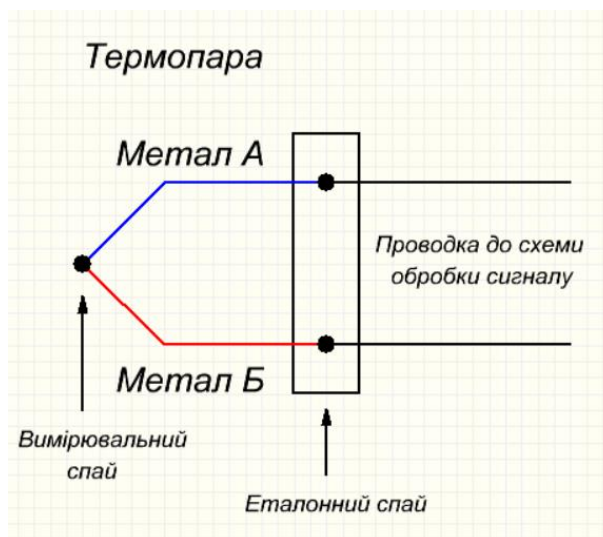


Рисунок 1.3 – Схема термопари

Варто відзначити, що термопара здатна виміряти лише різницю температур вимірювального і еталонного спаю. Вільний спай, зазвичай, знаходиться при кімнатній температурі. Тому для визначення кімнатної температури необхідно використовувати додатковий термометр або систему компенсації вимірювання температури вільного спаю.

В радіотехніці часто використовують поняття шумової температури, що дорівнює температурі, до якої повинен бути нагрітий резистор, синхронізований з вхідним опором електронного пристрою, щоб потужність теплових шумів цього пристрою і резистора були рівними в певній смузі

частот. Можливість введення такого поняття обумовлена пропорційністю середньої потужності шуму (середнього квадрату шумової напруги на електричному опорі) абсолютній температурі опору. Це дозволяє використовувати шумову напругу в якості термометричної ознаки для вимірювання температури. Шумові термометри для вимірювання низьких температур (нижче декількох кельвінів), а також в радіоастрономії для вимірювання радіаційної (яскравісної) температури космічних об'єктів.

1.1.2 Безконтактні методи вимірювання температури

Безконтактні методи вимірювання температури полягають у вимірюванні температури без безпосереднього контакту з об'єктом вимірювання. Такі методи зручні при необхідності вимірювати температуру об'єктів, які знаходяться у важкодоступних місцях або таких, які неможливо виміряти контактними методами, наприклад температура доменної печі, температура розплавленого металу, тощо. Використання безконтактних методів вимірювання дозволяє запобігати пошкодженню засобів вимірювання, підвищити безпеку обслуговуючого персоналу. Крім того немає необхідності зупиняти техпроцес для вимірювання температури на якійсь із ланок, а максимальна температура, яку можна виміряти таким методом практично необмежена [6].

Прилади, які можуть за тепловим випромінюванням визначити температуру випромінювача, називаються пірометрами. За допомогою оптики випромінення нагрітого тіла фокусується і направляється на приймач. Існуючі прилади для вимірювання температури за інтенсивністю випромінювання градуують за випроміненням штучного абсолютно чорного тіла. Тому при практичних замірах вони заздалегідь мають певну похибку.

Особливістю пірометрів випромінювання є те, що вимірювання температури відбувається без контакту з поверхнею вимірюваного тіла, що дозволяє контролювати температуру сильно нагрітих тіл, а також рухомих об'єктів. Пірометри мають ряд переваг порівняно з приладами контактного вимірювання температур:

- мають необмежену верхню температурну межу вимірювання;
- не спотворюють температурне поле об'єкту вимірювання;
- можуть використовуватись для вимірювання температур газових потоків на великих швидкостях.

За принципом дії пірометри випромінювання розділяють на оптичні і радіаційні, та мають наступну класифікацію:

- пірометр часткового випромінювання;
- пірометр спектрального відношення;
- пірометр сумарного випромінювання.

1.2 Пірометри часткового випромінювання

В пірометрах такого типу визначається яскравісна температура об'єкта вимірюванням енергії потоку у вузькому діапазоні довжин хвиль на ділянці спектру, обмежена фільтром або приймачем.

Найбільш поширеним приладом є квазімонохроматичний пірометр зі зникаючою ниткою. Принцип дії такого приладу заснований на порівнянні монохроматичної яскравості випромінювання нагрітого тіла, температуру якого потрібно виміряти, з монохроматичною яскравістю випромінювання нитки спеціальної пірометричної лампи розжарювання [5].

На рисунку 1.4 (а) зображена принципова схема пірометра ОППІР-017. Він представляє собою телескопічну трубку з лінзою (1) об'єктива і лінзою (4) окуляра. Всередині трубки в фокусі лінзи об'єктива знаходиться лампа розжарювання 5 з підковоподібною вольфрамовою ниткою.

Перед окуляром розміщено червоний світлофільтр (3). Спектральна характеристика пропускання світлофільтра підбирається так, щоб найбільша видима яскравість відповідала довжині хвилі приблизно 0,65 мкм. Нитка лампочки живиться від акумулятора і її розжарення можна контролювати реостатом (6). В поле зору телескопу спостерігач бачить частину випромінюючої поверхні нагрітого тіла, температуру якої треба виміряти, і на цьому фоні нитка лампочки (рисунок 1.4 б). Якщо яскравості нитки і нагрітого тіла не співпадають, то нитка на фоні тіла буде виглядати більш темною або

більш світлою. Регулюючи розжарення нитки реостатом, можна досягти рівності яскравостей, при цьому зображення нитки злиється з фоном і стане невидимим. В цей момент яскравісна температура нитки дорівнює яскравісній температурі об'єкта вимірювання. Око досить чутливе до розрізнення яскравостей і момент «зникнення» нитки фіксується досить впевнено. Індикуючий прилад (8), увімкнутий в коло нитки розжарювання, калібрується за зразковим пірометром або за температурними лампами в градусах Цельсія яскравісної температури.

Якщо об'єкт вимірювання за своєю випромінюючою здатністю близький до абсолютно чорного тіла (АЧТ), то температура, яку показуватиме пірометр буде дорівнювати дійсній температурі об'єкта. Для реальних фізичних тіл випромінююча здатність не досягає випромінюючої здатності АЧТ. Тому при однаковій яскравості випромінювання дійсна температура реального фізичного тіла буде вищою ніж температура, яку показує оптичний пірометр.

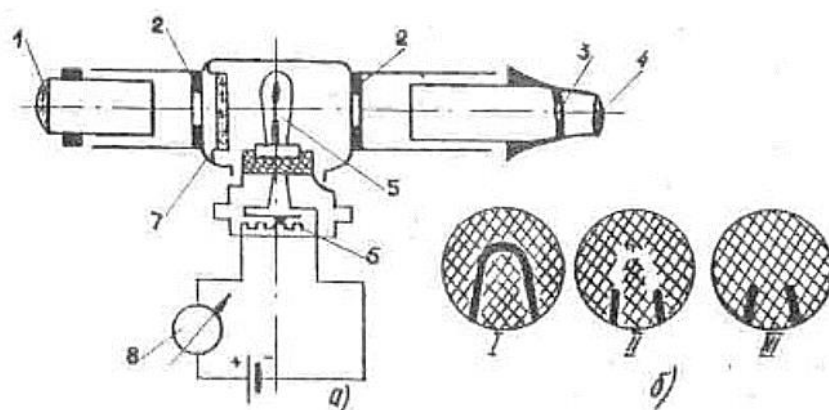


Рисунок 1.4 – Принципова схема пірометра часткового випромінювання
а) пірометр ОППІР-017; б) нитка розжарювання

На практиці в показники оптичного пірометра вноситься поправка, величина якої може бути значною. При вимірюваннях температур більше 1500°С перед лампою встановлюють сірий поглинаючий світлофільтр (7) для зменшення видимої яскравості випромінювання, для виключення перегріву нитки розжарювання, що призводить до розпилення вольфраму.

Для такого пірометра верхня межа вимірювання температури становить 6000 °С. Допустима похибка вимірювання яскравісної температури залежить

від діапазону температур і може становити 1...25% від верхньої межі шкали приладу.

Пірометри з фотоелектричним пристроєм дозволяють автоматично порівнювати яскравість нитки і об'єкту та мають більш високу точність, але при цьому їх конструкція набагато складніша.

1.3 Пірометри повного випромінювання (радіаційні пірометри)

Принцип дії пірометрів повного випромінювання заснований на використанні закону Стефана-Больцмана. У них реєструється повне випромінювання нагрітого тіла, включаючи як видиме, так і не видиме випромінювання. У зв'язку з цим радіаційні пірометри називаються також пірометрами повного випромінювання [6].

Промені, які випромінює нагрітий об'єкт, збираються у пірометрі за допомогою оптичної системи (лінзи, дзеркала) на термоприймачі. Термоприймачем слугує термобатарея, яку утворюють декілька малоінерційних термопар послідовно з'єднаних між собою, при цьому їхні робочі спаї нагріваються випромінюванням об'єкту вимірювань. Під час цього виникає термо-ЕРС (мВ) величина якої вимірюється і автоматично записується за допомогою реєструючої апаратури, градуйованої в градусах.

Особливістю радіаційних пірометрів є те, що за допомогою них можна вимірювати невисокі температури, при яких об'єкт вимірювання не дає видимого випромінювання, а також вимірювання температури об'єктів більш холодних, ніж навколишнє середовище. В такому випадку термобатарея охолоджується під час радіаційного теплообміну. Якщо різниця температур об'єкта вимірювання і навколишнього середовища незначна, то необхідно проводити ретельне термостатування вільних кінців термопар або усього корпусу пірометру.

Особливо зручно використовувати такі пірометри для безконтактного вимірювання невисоких температур, наприклад, рухомих предметів. Вони використовуються для безперервного вимірювання і реєстрації температури, а також застосовуються у системах автоматичного регулювання.

Для забезпечення точності вимірювання радіаційним пірометром необхідно, щоб зображення об'єкту вимірювання, яке створюється об'єктивом на робочих спаях термопар, повністю покривало їх. Збільшення похибки вимірювання може бути пов'язано з недостатньою прозорістю середовища між телескопом і об'єктом вимірювання та забруднення оптики.

Діапазон вимірюваних температур для таких пірометрів становить від 100 до 3500 °С. Похибка збільшується зі збільшенням верхньої межі вимірювань і для 1000, 2000 і 3000 °С становить ± 12 , ± 20 , ± 35 °С, відповідно.

1.4 Пірометри спектрального співвідношення (колірні пірометри)

В колірних пірометрах визначається співвідношення спектральної яскравості реального нагрітого об'єкту в двох, завчасно обраних, довжинах хвиль (наприклад відповідних червоному і синьому кольору). Це відношення для кожної температури різне, але, разом з тим, однозначне [7].

Перевагою колірного пірометра є те, що для реальних об'єктів криві спектральної енергетичної яскравості при різних температурах подібні до кривих абсолютно чорного тіла (АЧТ), тому не потрібно вносити поправки на неповноту випромінювання. Крім того результати вимірювання не залежать від відстані до об'єкту вимірювання і від поглинання радіації в середовищі. Найбільш цікавими є пірометри, які використовують для оцінки інтенсивності випромінювання фотоелементи, так як це дозволяє створити прилади, які об'єктивно і безперервно можуть вимірювати температуру. Принципова схема колірного пірометра представлена на рисунку 1.5.

Інтенсивність випромінювання кожного з двох ділянок спектру можна виміряти своїм фотоелементом і, порівнявши фотоструми від них, визначити температуру. Однак з часом характеристики фотоелементів змінюються не однаково, що вносить додаткову похибку вимірювання в градування приладу. Тому для визначення інтенсивності випромінювання обох ділянок спектру краще використовувати один фотоелемент.

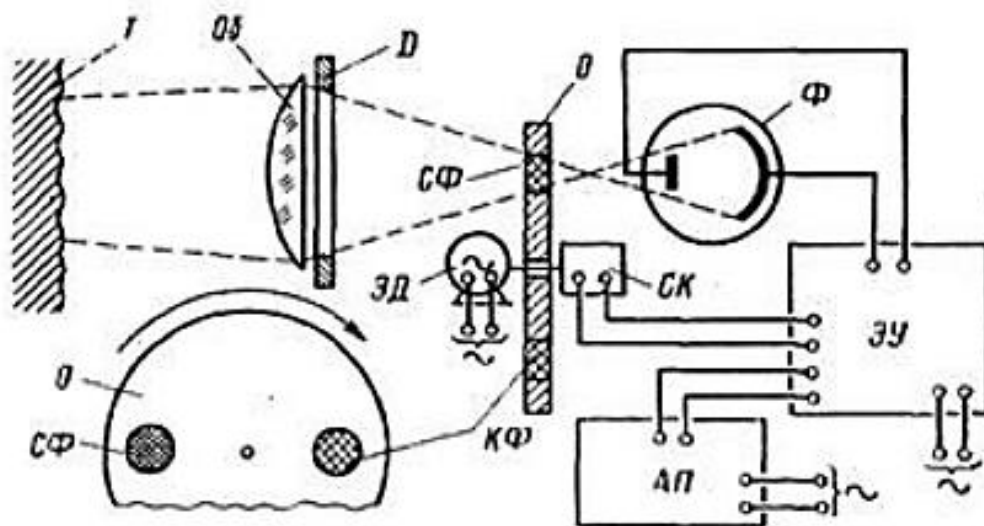


Рисунок 1.5 – Принципова схема колірної пірометру

На рисунку 1.5 наведено спрощену схему колірної пірометру типу ЦЭП-3. Потік випромінення від вимірюваного об'єкту Т надходить через об'єктив Об і діафрагму Д до обтюратора О, який обертається за допомогою електричного двигуна ЕД зі швидкістю 50 обертів на секунду. В обтюраторі встановлені два комплекти кольорових скляних світوفільтрів СФ і КФ, які пропускають вузькі діапазони довжин хвиль, що відповідають ефективним довжинам синіх і червоних хвиль. В результаті на фотоелемент Ф по чергово потрапляють промені від синьої і червоної ефективної довжини. Формуються імпульси фотоструму різної величини, які перетворюються в електронному підсилювачу ЕУ в сигнали, пропорційні логарифму відношення фотострумів – функції значення колірної температури.

Синхронний комутатор СК дозволяє підсилювачу ЕУ розрізняти колір вхідного сигналу. Результати вимірювань фіксуються автоматичним потенціометром АП.

Пірометром ЦЭП-3 можна виміряти колірні температури в інтервалі 1400 – 2800 °С. Увесь діапазон температур ділиться на під діапазони по 200 – 300 °С, для кожного з яких використовується свій обтюратор зі спеціально підібраними комплектами кольорних і поглинаючих фільтрів. Шкала пірометрів ЦЭП-3

умовна. Для переходу на колірну температуру користуються спеціальними графіками для кожного під діапазону вимірювання.

Допустима похибка і варіація показників не повинні перевищувати 1% від верхньої межі вимірювань відповідного під діапазону. Під час експлуатації за рахунок поступової зміни спектральної чутливості фотоелементу, що пов'язано з його старінням, градування приладу змінюється і необхідно його корегувати приблизно кожні 30 діб. Тому при оцінці похибки вимірювання потрібно враховувати додаткову похибку взірцевих або контрольних ламп, за якими калібрується пірометр.

1.5 Тепловізори

Тепловізор – це оптико-електронна система, призначена для отримання видимого зображення об'єктів, випромінюючих видиме (інфрачервоне) випромінювання. Умовно кажучи пірометр вимірює середню температуру ділянки, не показуючи детального розподілення тепла, а за допомогою тепловізора можна отримати усі видимі множини точок температури.

У зв'язку з цим об'єкти нагріті нерівномірно складається деяка картина розподілення ІЧ – випромінювання.

Принцип дії усіх тепловізійних систем полягає у фіксуванні температурної різниці об'єкт – фон і на перетворенні інформації в зображення, видиме для ока.

Тепловізійні прилади здатні забезпечувати велику дальність бачення у будь-який час доби, через будь-яку прозору для ІЧ – випромінювання маскуванню і навіть при ускладнених погодних умовах (туман, дощ, снігопад, пил, дим, тощо.). Однак пари води і вуглекислий газ досить інтенсивно поглинають хвилі ІЧ – спектру, і це суттєво погіршує чутливість приладів [9].

Фоточутливим елементом сучасного тепловізора є фокально-площинна двовимірна багатоелементна матриця фотоприймачів (FPA), виготовлена на основі напівпровідників з домішками кремнію і германію.

Основним і головним недоліком тепловізора є велика ціна. 90% вартості приладу складають його основні елементи: матриця і об'єктив.

Широке застосування тепловізори знайшли, як на великих промислових підприємствах для контролю температурного стану об'єктів, так і серед невеликих організацій, які займаються пошуком несправностей мереж різного значення. Особливо корисними тепловізори стали у будівництві, їх використовують для оцінки теплоізоляційних властивостей конструкцій, та виявлення теплових втрат.

Останнім часом тепловізори почали також активно використовуватись у медичних цілях – для визначення з великої кількості людей тих, які інфіковані вірусом грипу.

Інфрачервоне випромінювання фокусується за допомогою оптики тепловізора при приймачі випромінювання, який видає сигнал, як правило, у вигляді вимірювання напруги або електричного опору. Отриманий сигнал реєструється електронікою тепловізійної системи. Сигнал який видає тепловізор перетворюється в електронне зображення (термограму), яке відображається на дисплеї приладу. Термограма – це зображення об'єкту, оброблене електронікою для відображення на дисплеї таким чином, що різні градації кольору відповідають розподіленню інфрачервоного випромінювання на поверхні об'єкту.

Сучасні тепловізори являють собою досить компактний прилад, який з легкістю можна транспортувати у спеціальному футлярі.

Обстеження тепловізором проводиться з метою отримання об'єктивної інформації про втрати тепла і дефекти будівлі з якими ці втрати пов'язані.

Проте існує ряд факторів, що обмежують застосування тепловізора, або спотворюють дані тепловізійної зйомки. Існують певні правила обстеження тепловізором, дотримання яких є обов'язковим:

1. Обстеження тепловізором проводять при перепаді температур між зовнішнім і внутрішнім повітрям не менше ніж 10 °С. Більш високий перепад температур може покращити якість тепловізійної зйомки, особливо у тих випадках коли застосовується тепловізор низького розширення або з чутливістю менше ніж 0,06 °С.

2. Сонячний нагрів поверхні огорожуючих конструкцій, атмосферні опади і вітер маскують температурні аномалії, пов'язані з дефектами теплового захисту. При наявності таких факторів тепловізійна зйомка зовнішніх поверхонь не ефективна, тому виконується детальне обстеження тільки внутрішніх поверхонь.

3. Тепловізійна зйомка в стаціонарному режимі не виявляє дефекти теплового захисту, пов'язані з повітропроникністю конструкцій. При цьому такі дефекти є причиною до 90% від загального об'єму тепловтрат від загального об'єму тепловтрат дерев'яних і каркасних будівель і до 50% будівель інших типів.

4. При обстеженні тепловізором одночасно збирається інформація про вологість матеріалів для перевірки наявності конденсату і контролю поточного стану конструкцій. Інформація про вологість може бути отримана методами за допомогою сканера вологості.

5. Аналіз термографічних даних проводиться після отримання наступної інформації: про температуру і вологість повітря всередині і зовні будівлі, про температуру зовнішніх і внутрішніх поверхонь огорожуючих конструкцій, про вологість матеріалів в місцях виявлених дефектів, про повітрообмін у будівлі, про сонячне опромінення, швидкість вітру, наявність опадів і т. д.

Відсутність принаймні частини цих даних не дає можливості зробити обґрунтовані висновки про причини тепловтрат і поточний стан будівлі.

Обстеження тепловізором дає відповіді на наступні питання:

- де і як втрачається тепло;
- які приховані дефекти руйнують будинок з середини, де вони знаходяться, як від них позбутися;
- які заходи з утеплення дадуть найбільший ефект при найменших витратах;
- в яких місцях протікає крівля, труби чи теплі підлоги;
- в якому стані знаходиться утеплювач.

1.6 Ультразвукове вимірювання температури

Даний тип вимірювання температури полягає у застосуванні ультразвукових випромінювачів та приймачів. В основу методу покладені закони фізики, згідно з якими швидкість звуку у газах залежить лише від температури і не залежить від тиску газу, чи сили випромінення [2]. Таким чином інтервал між прямою хвилею і зворотною дасть змогу вирахувати швидкість звукової хвилі, та порівняти її з швидкістю при еталонній температурі.

Цей метод не є популярним та глибоко дослідженим, тому викликає особливу цікавість та буде більш розглянутий у 2 розділі.

До переваг можна віднести: повну без інерційність вимірювання (оскільки у складі приладу немає інерційних датчиків температури яким потрібно нагрітися або охолонути до температури вимірювання; широкий діапазон вимірювання температури; можливість за допомогою ультразвукового вимірювання вдосконалити вже існуючі методи (як контактні так і безконтактні); можливість підключення то автоматичних систем керування.

Основним недоліком є відносна складність калібрування, та необхідність його проводити при переміщенні датчика в просторі.

Одним з приладів який працює базуючись на такому методі вимірювання є ультразвуковий датчик швидкості і напрямку вітру (рисунок 1.6). Він складається з 6-ти ультразвукових датчиків, які встановлені на відстані 200 мм один навпроти одного [3]. Формуються 3 шляхи, які розміщені вертикально один до одного. Датчики працюють як випромінювачі та приймачі одночасно. Коли проводяться вимірювання, виконується послідовність з 6 індивідуальних вимірювань у всіх 6 напрямках за час циклу. Напрямок вимірів змінюються за часовою стрілку, починаючи з верху вниз, а потім знизу вверх. Отримані значення вираховуються з 6 індивідуальних замірів і залежать від швидкості вимірів і частоти виводу вимірюваної інформації.

Час, необхідний на 1 вимірювальну послідовність, складає 3,5 мсек при температурі 20 °C на максимальній швидкості вимірювання, яка обмежена лише швидкістю звуку на ділянках вимірювання [4].

Подібні пристрої існують з різною кількістю датчиків, що впливає на їх функціонал. Наприклад, анемометр двовимірний визначає швидкість і напрям вітру, тривимірний – визначає три компоненти вектора швидкості вітру, чотиривимірний – крім попередніх показників можуть вимірювати температуру повітря.

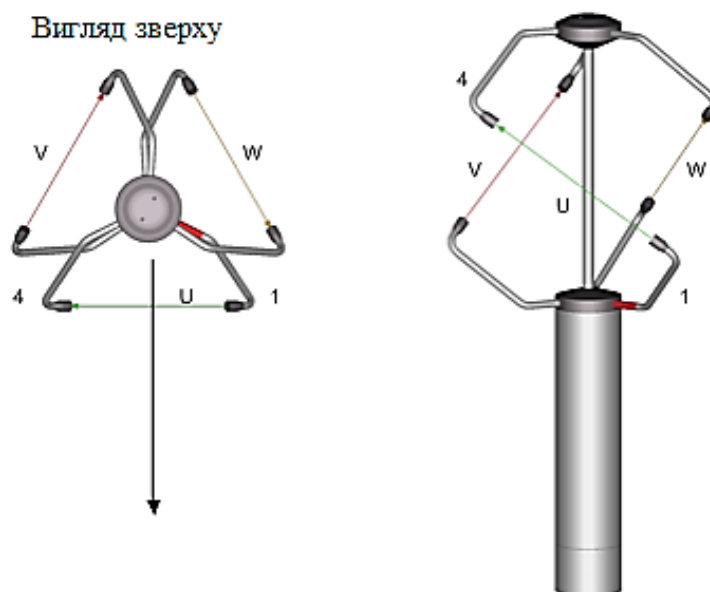


Рисунок 1.6 – Ультразвуковий датчик швидкості і напрямку вітру

1.7 Порівняння методів вимірювання температури

Розглянувши усі найбільш поширені методи вимірювання температури можна зробити деякі висновки та скласти порівняльну таблицю (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Порівняння методів вимірювання температури

Тип вимірювання	Термометричне тіло	Термометрична ознака	Інтервал вимірюваних температур	Назва приладу
1	2	3	4	5

Контактний	Газ	Тиск газу у постійному об'ємі	Сотні °С	Газовий термометр
Контактний	Ртуть	Зміна об'єму рідини	-35 °С...сотні °С	Ртутний термометр
Контактний	Металева проволока	Зміна електричного опору	~20К...сотні °С	Металевий термометр
Контактний	Напівпровідник	Зміна електричного опору	Декілька К...сотні °С	Напівпровідниковий термометр
Безконтактний	Фотоелемент	Яскравісний колірний спектр	1400...2800 °С	Радіаційний пірометр
Безконтактний	Фото чутливий елемент	Температурна різниця об'єкт/фон		Тепловізор
Безконтактний	Ультразвуковий датчик	Швидкість звукової хвилі		Ультразвуковий вимірювач температури
Контактний	Спай 2-х металів	Термо-ЕРС	Десятки К...1500 °С	Термопара

Продовження таблиці 1.1

Висновки: Отже, врахувавши вищесказане можна зробити висновок, що

1	2	3	4	5
Безконтакт- ний	Нитка розжарювання	Монохроматич- на яскравість	До 6000 °С	Пірометр часткового випроміню- вання
Безконтакт- ний	Термоприймач	Повне випромінюван- ня нагрітого тіла	100...3500 °С	Пірометр повного випроміню- вання

сфери застосування контактних і безконтактних термометрів досить відрізняються, як і вимоги до них. Наприклад безконтактні вимірювачі температури мають значно вищі межі вимірювання, та не мають інерційності, разом з тим їхня точність набагато нижча. Це пов'язано з тим, що на покази впливають сторонні фактори, які знаходяться у середовищі між об'єктом вимірювання та приладом (пил, опади, туман і т. д.).

Безконтактні прилади є більш сучасними, відповідно і обробка результатів їхньої роботи автоматизована, що спрощує читання інформації людиною.

Сфери застосування більшості приладів чітко визначені, деякі з них вузькоспеціалізовані, як тепловізори, а деякі можуть бути виготовлені для спеціальних умов роботи, з урахуванням необхідних параметрів, як терморари.

Проте один з видів досі не набув широкого застосування (ультразвуковий вимірювач температури), тому у наступному розділі буде розглянуто можливість його застосування, як самостійного приладу, так і як допоміжного для деяких інших засобів вимірювання температури.

2 РОЗДІЛ

2.1 Розробка методу ультразвукового вимірювача температури середовища

Розглянемо теорію, необхідну для розробки приладу.

Швидкість звуку у середовищі залежить від тиску (висоти), вологості та температури середовища, та визначається за формулою:

$$c = \sqrt{\frac{j \cdot R(t - 273,5)}{M}}, M = 28,95 - 10,934 \cdot RH \cdot \frac{P_n}{P}, j = 7/5, R = 8,31447, \quad (2.1)$$

де: t – температура середовища,

P – тиск,

RH – відносна вологість

P_n – тиск насиченої водяної пари.

Апроксимація дослідних даних станів насиченої пари дозволила отримати досить точну формулу насиченої пари для усього діапазону інженерних завдань.

$$P_n = k \cdot 4,579 \cdot \exp\left(\frac{17,14 \cdot T}{235,3 + T}\right), \quad (2.2)$$

де: P_n – тиск насиченої пари,

T – температура насиченої пари,

k – коефіцієнт переведення розмірності = 133,3 для Паскалів.

Дослідження показали, що склад повітря в окремих від землі шарах атмосфери майже не змінюється і відсотковий вміст кисню такий же як на поверхні Землі. Тому молярна маса повітря може змінюватися лише від вологості за рахунок більшої масової частки H_2O .

За спрощеною формулою тиск з висотою зменшується за законом:

$$P = P_0(0,87)^h = P_0 \cdot 10^{-0,06h}, \quad (2.3)$$

де: P_0 – атмосферний тиск на рівні моря,

h – висота над рівнем моря.

Тобто парціальний тиск зменшиться, а з ним і кількість кисню. На висоті 5 км може нудити, крутитися голова, або навіть втрачатись свідомість. Адже згідно формулі на висоті 5 км тиск, а відповідно і вміст кисню в тому ж об'ємі

зменшиться на 50%. На вершині Евересту кисню у 3 рази менше ніж на рівні моря. При розгерметизації кабіни літака на висоті у 8000 метрів пілот втрачає свідомість за 2 хвилини. З цього можна зробити висновок, що найбільше кисню на рівні моря зимою при сухому повітрі.

В цілому, вплив вологості досить малий. Різниця швидкості звуку між сухим повітрям (0%) і туманом (100%) складає 2 м/с, при температурі 25°C, а при 0°C складає лиш 0,4 м/с. Тиск також майже не впливає на швидкість звукової хвилі. На висоті 3 км над рівнем моря швидкість звуку збільшується всього на 0,5 м/с (при незмінній температурі 25°C і вологості 40%). Основний вплив має температура. Зменшення температури з 25°C до 0°C знижує швидкість звуку на 15,5 м/с, тому іншим можна знехтувати.

Суть методу вимірювання температури полягає у тому, що знаючи точну відстань від випромінювача ультразвукового сигналу до перешкоди (або приймача) легко можна виміряти швидкість проходження хвилі, порівняти її з швидкістю у вакуумі і вирахувати температуру середовища у якому пройшла хвиля (повітря).

Ультразвук раніше використовувався здебільшого для виготовлення ехолотів, але зараз йому знайдено більш широке застосування.

Для реалізації ультразвукового вимірювача температури можна використати мікроконтролер та допоміжні елементи, такі як опори навантаження та ємності, але доцільніше застосувати одну з плат сімейства Arduino, яка поєднує у собі усі ці елементи.

2.2 Плата Arduino Uno

Плата Arduino Uno – центр великої імперії Arduino, найбільш популярний і доступний пристрій. В його основі лежить чіп ATmega – в останній версії Arduino Uno R3 – це ATmega328, хоча досі зустрічаються плати Uno з ATmega168 [11]. Контролер Uno є найдоцільнішим варіантом для початку роботи з платформою: вона має зручні розміри (не надто велика, як Mega, та не надто мала як Nano), досить доступна через масовий випуск різних клонів, під

неї написано велика кількість безкоштовних уроків та тренінгів. Технічні характеристики наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики Arduino Uno

Мікроконтролер	АТmega328
Робоча напруга	5В
Напруга живлення (рекомендована)	7-12В
Напруга живлення (максимальна)	6-20В
Цифрові входи/виходи	14 (з них 6 можуть використовуватися у якості ШІМ-виходів)
Аналогові виходи	6
Максимальний струм одного виводу	40мА
Максимальний струм виводу 3,3В	50мА
Flash – пам'ять	32КБ (АТmega328) з яких 0,5КБ використовуються завантажувачем
SRAM	2КБ (АТmega328)
EEPROM	1КБ (АТmega328)
Тактова частота	16МГц

Подібну плату можна придбати за найнижчими цінами у китайських електронних магазинах, при чому можна знайти як найпростіші варіанти, так і офіційні плати на базі оригінального мікроконтролера. Ще одна група товарів – нестандартні плати з вбудованим Wi-Fi (на базі ESP8266 та ESP32), додатковими роз'ємами для більш зручного підключення периферії. Розпіновку плати на базі контролера АТmega328 наведено у додатку Б, принципову схему Arduino Uno у додатку В.

2.2.1 Опис елементів плати та пінів Arduino Uno

На платі знаходиться мікроконтролер, роз'єми для зовнішнього підключення периферії по USB та живлення, 12 цифрових пінів, та 6

аналоговий для підключення пристроїв, 2 виходи, кнопка скиду, піни живлення, та ін. Опис елементів плати наведено на рисунку 2.1 [14].

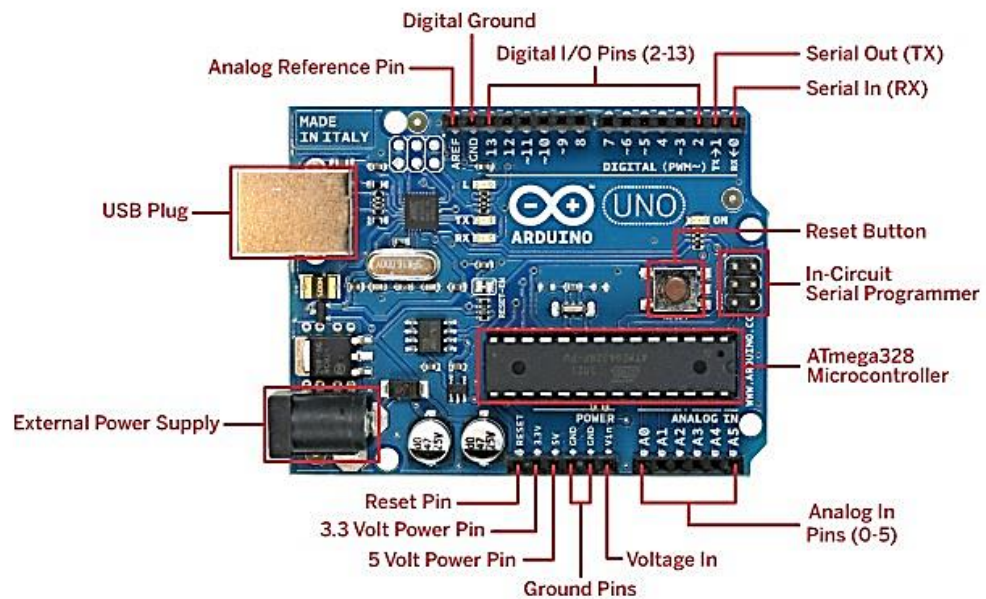


Рисунок 2.1 – Опис елементів плати Arduino Uno

Піни Arduino використовуються для підключення зовнішніх пристроїв і можуть працювати як в режимі входу (Input), так і в режимі виходу (Output). До кожного входу можна підключити вбудований резистор 20 – 50 кОм за допомогою команди `pinMode()` в режимі `INPUT_PULLUP`. Допустимий струм на кожному виході складає – 20 мА. Для зручності деякі піни суміщують у собі декілька функцій:

- Піни 0 і 1 – контакти UART (RX і TX відповідно);
- Піни з 10 по 13 – контакти SPI (SS, MOSI, MISO, SCK відповідно);
- Піни A4 і A5 – контакти I2C (SDA і SCL відповідно).

Піни з номерами від 0 до 13 є цифровими. Це означає, що зчитувати з них і подавати на них можна лише два види сигналів HIGH і LOW. За допомогою ШІМ можна використовувати цифрові порти для керування потужністю підключених пристроїв. Детальний опис цифрових пінів наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – детальний опис цифрових пінів Arduino.

Пін Arduino	Адресація в скетчі	Спеціальне призначення	ШІМ
Цифровий пін 0	0	RX	
Цифровий пін 1	1	TX	
Цифровий пін 2	2	Вхід для переривань	
Цифровий пін 3	3	Вхід для переривань	ШІМ
Цифровий пін 4	4		
Цифровий пін 5	5		ШІМ
Цифровий пін 6	6		ШІМ
Цифровий пін 7	7		
Цифровий пін 8	8		
Цифровий пін 9	9		ШІМ
Цифровий пін 10	10	SPI (SS)	ШІМ
Цифровий пін 11	11	SPI (MOSI)	ШІМ
Цифровий пін 12	12	SPI (MISO)	
Цифровий пін 13	13	SPI (SCK) До виходу також під'єднано вбудований світлодіод	

Аналогові піни Arduino Uno призначені для підключення аналогових пристроїв і є входами для вбудованого аналогово – цифрового перетворювача (АЦП), який в Arduino десяти розрядний. Детальний опис аналогових пінів наведений у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – детальний опис аналогових пінів Arduino Uno

Пін	Адресація в скетчі	Спеціальне призначення
1	2	3
Аналоговий пін A0	A0 або 14	
Аналоговий пін A1	A1 або 15	
Аналоговий пін A2	A2 або 16	

Аналоговий пін A3	A3 або 17	
Аналоговий пін A4	A4 або 18	I2C (SCA)
Аналоговий пін A5	A5 або 19	I2C (SCL)

Крім цифрових і аналогових пінів на платі є ще додаткові піни:

- AREF – формує опорну напругу для вбудованого АЦП. Може керуватися функцією `analogReference()`;
- RESET – подача низького сигналу на цей вхід приведе до перезавантаження пристрою.

Підключення будь яких пристроїв до плати здійснюється шляхом приєднання до контактів, що розташовані на платі контролера: до одного з цифрових або аналогових пінів чи пінів живлення. Простий світлодіод можна підключити, використовуючи 2 контакти: землю (GND) і сигнальний (або контакт живлення), як показано на рисунку 2.2.

Для підключення найпростішого датчика необхідно використати як мінімум три контакти: два для живлення та один для сигналу. Приклад підключення показано на рисунку 2.3.

При будь якому варіанті підключення зовнішнього пристрою необхідно пам'ятати, що використання плати у якості джерела живлення можливе тільки у тому випадку, коли пристрій не споживає більше дозволеного межового дозволеного значення струму контролера.

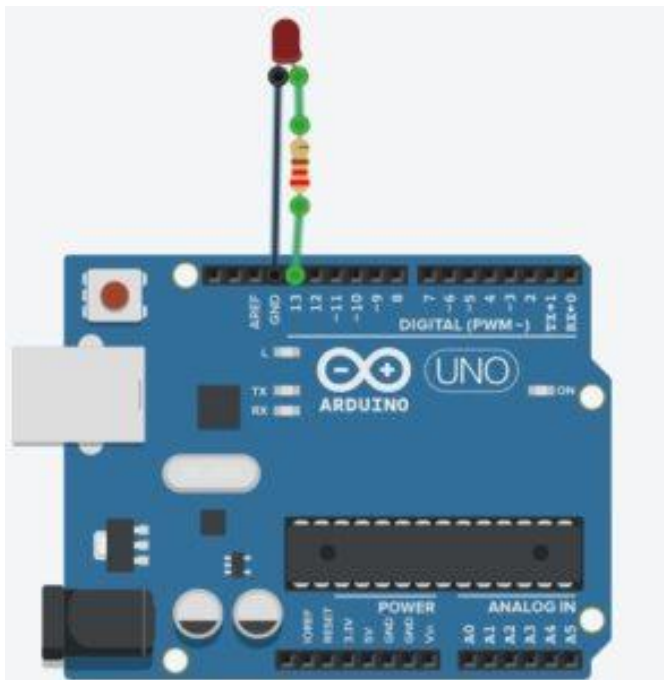


Рисунок 2.2 – Підключення світлодіоду до Arduino Uno

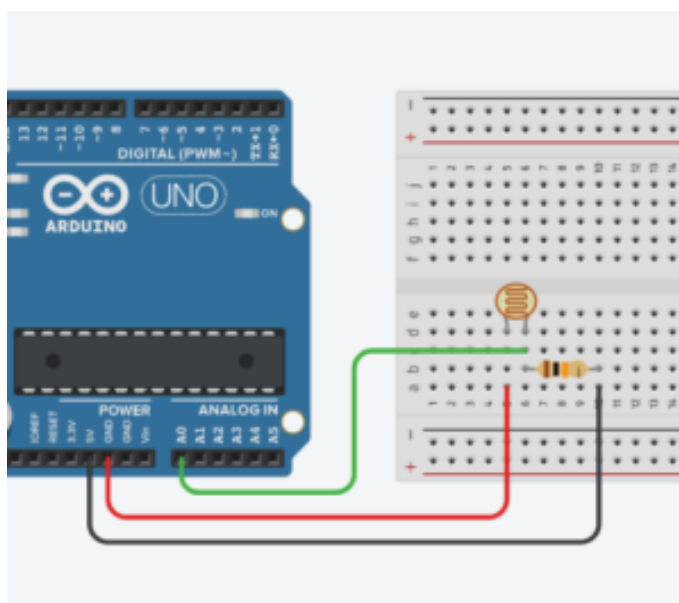


Рисунок 2.3 – Підключення найпростішого датчика до Arduino Uno

2.2.2 Живлення Arduino Uno

Робоча напруга живлення плати Arduino Uno складає 5В. На платі встановлено стабілізатор напруги, тому на вхід можна подавати живлення з різних джерел. Крім того плату можна заживити від USB пристроїв. Джерело живлення обирається автоматично. Отже можливі наступні варіанти живлення:

– живлення від зовнішнього адаптера, рекомендована напруга від 7 до 12В. Максимальна напруга 20В, але напруга вища 12В з великою імовірністю швидко виведе плату з ладу. Напруга менше 7В може привести до нестабільної роботи, оскільки на вхідному каскаді може втрачатися 1-2В. для підключення живлення можна використати вбудований роз'єм DC 2.1мм або напряму вхід VIN для підключення джерела живлення за допомогою провідників;

– живлення від USB порту комп'ютера;

– подача 5В напряму на пін 5V. У такому випадку напруга подається в обхід вхідного стабілізатора і навіть найменший стрибок напруги може вивести плату з ладу.

Для живлення плати використовується 5 пінів:

– 5V – на цей пін Arduino подає 5В, його можна використовувати для живлення зовнішніх пристроїв;

– 3,2V – на цей пін від внутрішнього стабілізатора подається напруга 3,3В;

– GND – вивід заземлення;

– VIN – пін для подачі зовнішньої напруги;

– IREF – пін для інформування зовнішніх пристроїв про робочу напругу плати.

2.2.3 Пам'ять Arduino Uno та програмування плати

Плата Uno за замовчуванням підтримує три типи пам'яті:

– Flash – пам'ять об'ємом 32 кБ. Це основне сховище для команд. Сюди записується скетч під час прошивки мікроконтролера. 2 кБ з цього об'єму пам'яті відводиться на bootloader – програму, яка займається ініціалізацією системи, запуском через USB і запуском скетчу;

– Оперативна SRAM пам'ять об'ємом 2 кБ. Тут, за замовчуванням, зберігаються змінні і об'єкти, що створюються в ході роботи програми. Ця пам'ять є енергозалежною, тому повністю обнуляється при вимкненні живлення;

– Енергонезалежна пам'ять (EEPROM) об'ємом 1 кБ. Тут можна зберігати дані, які не зітруться при вимкненні контролера. Проте процедура запису і зчитування EEPROM вимагає використання додаткової бібліотеки, яка доступна в Arduino IDE за замовчуванням. Також необхідно пам'ятати про обмежену кількість циклів перезапису, властиву технології EEPROM [12].

Для написання програм для контролера Arduino необхідно встановити середовище програмування. Найпростішим варіантом є безкоштовний додаток Arduino IDE, який доступний для безкоштовного завантаження на офіційному сайті.

Після встановлення IDE необхідно обрати потрібну плату у меню «Інструменти» і підпункті «Плата». Після вибору плати автоматично зміняться параметри збірки проекту і кінцевий код буде скомпільовано у формат, який підтримує плата. Підключивши контролер до комп'ютера через USB можна завантажити написану програму використовуючи відповідну команду. Сама програма зазвичай має вигляд безкінечного циклу, в якому регулярно відбуваються звернення до пінів з приєднаними датчиками і, за допомогою спеціальних команд, формується управляюча дія на зовнішні пристрої (вмикаються або вимикаються). У програміста є можливість підключити готові бібліотеки, як вбудовані в IDE, так і доступні на різноманітних сайтах і форумах. Написана і скомпільована програма завантажується через USB – з'єднання (UART – Serial). З боку контролера за цей процес відповідає bootloader.

2.2.4 Вибір плати Arduino

На сьогоднішній день на ринку найбільш розповсюдженими платами сімейства є плати Arduino Uno, Nano та Mega, для здійснення проекту безінерційного вимірювача температури потрібно обрати оптимальну серед них.

Плати Arduino Uno і Nano мають спільний мікроконтролер ATmega328. Основною відмінністю цих плат є розмір і типи контактних площадок. Габарити Arduino Uno: 68мм x 53мм, у той час як Nano: 42 мм x 18,5 мм. Для

підключення периферії у платах Uno використовуються роз'єми для підключення, у платах Nano – контакти у вигляді ніжок. Відповідно менша плата дозволяє мінімізувати розміри приладу, для якого використовується, натомість ускладнює монтаж елементів. Ще однією вагомою відмінністю є роз'єм для з'єднання плати з ПК, у випадку з Uno це, зазвичай, USB Type-B, у платах Arduino Nano використовуються Mini або Micro USB. Також у платах Uno є вмонтований роз'єм живлення DC. Крім апаратних, є ще деякі відмінності в процесі завантаження програми, тому перед завантаженням потрібно переконатись, що обрано саме необхідну плату.

Ще однією популярною платою сімейства Arduino є Arduino Mega, яка є найбільшою за розмірами та має найбільшу кількість пінів. Основні особливості плати Mega:

- у платі використовується інший мікроконтролер – ATmega 2560, з тактовою частотою 16 МГц;
- плата містить 54 цифрових піни та 16 аналогових (у платі Uno 14 цифрових і 6 аналогових);
- у платі Mega більше контактів, які підтримують апаратні переривання (6 проти 2 в Uno) та більше Serial портів (4 проти 1 в Uno);
- збільшено кількість пам'яті: Flash – 256 кБ, SRAM – 8 кБ, EEPROM – 4 кБ.

Отже, враховуючи все вище перераховане, можна зробити висновок, що для реалізації проекту безінерційного вимірювання температури за допомогою ультразвуку достатньо використати плату Arduino Uno. 14 цифрових і 6 аналогових пінів дозволить підключити необхідну кількість зовнішніх датчиків, а USB – роз'єм спростить підключення до комп'ютера для прошивки контролера. Вбудований стабілізатор дозволяє використовувати різні елементи живлення з широким діапазоном від 6-7 В до 12-14В.

2.3 Дослідження ультразвукових сенсорів температури

Сенсорні прилади, які перетворюють електричний струм у хвилі ультразвуку, називаються ультразвуковими датчиками. Їх принцип дії

аналогічний радару, вони виявляють ціль за відбитим сигналом. Швидкість звуку – величина постійна, на основі цього вираховується відстань до об'єкта, яка відповідає діапазону часу між випроміненням сигналу і його відбиттям.

Працюють ультразвукові датчики покладаючись на співвідношенні коливань ультразвуку у змінному просторі. Ультразвукові коливання – це механічні коливання, які відбуваються з частотою більше 20 кГц, тобто вищій ніж верхня границя коливань звуку, що сприймається людиною.

Розповсюдження таких коливань в газоподібних, рідких і твердих середовищах залежить від параметрів середовища [4]. Швидкість передачі коливань для газів становить 200 – 1300 м/с, для твердих тіл 1500 – 8000 м/с, для рідин 1100 – 2000 м/с., та залежить, головною мірою. від температури середовища.

Коефіцієнти відбиття ультразвукових хвиль на межі різних середовищ відрізняються так, як і їх здатність поглинати звук. Тому вони використовуються для отримання інформації про різні неелектричні параметри за допомогою зміни властивостей коливань ультразвуку: зсув фаз, час затухання, розповсюдження коливань.

Ультразвукові методи вимірювання є електричними, тому, що збудження коливань і їх прийом відбуваються за допомогою електрики. Зазвичай у датчиках використовуються п'єзоелементи, перетворювачі магнітострикційного виду. Для збудження коливань ультразвукової частоти застосовують ефект розтягнення і стиснення п'єзокристалу, яке називається зворотнім п'єзоефектом. Тому п'єзоелемент застосовується як в якості приймача коливань, так і в якості передавача.

Випромінювачі магнітострикційного виду застосовують ефект деформації феромагнітів в магнітному полі. Випромінювач стержневого виду виконаний у вигляді тонких листів феромагнетика, на якому намотана котушка збудження. В магнітострикційних випромінювачах часто застосовуються сплави нікеля, ферити. При знаходженні феромагнітного стержня у змінному магнітному полі, він буде розтягуватись і стискатись з частотою поля. Напрямок поля, у такому випадку, не впливає на знак деформації, тому частота деформації буде в 2 рази

вищою ніж частота збуджуючого поля. Для значного збільшення деформації застосовують підмагнічування стержня.

Іншим типом випромінювачів є випромінювачі на основі кварцової пластини, до якої підключено змінну напругу U_x , яка формує електричне поле по осі X (рисунок 2.4).

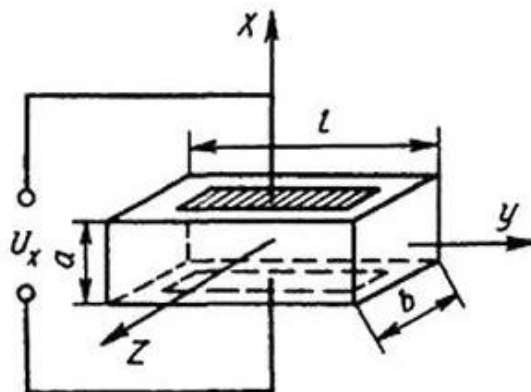


Рисунок 2.4 – Випромінювач на основі кварцової пластини

Зворотній ефект полягає у деформації пластини X . Відносна зміна розміру пластини дорівнює:

$$\Delta a/a = kU_x / a \quad (2.4)$$

Поперечний ефект полягає у деформації пластини по осі Y . Відносна зміна товщини пластини дорівнює:

$$\Delta l/l = kU_x / a \quad (2.5)$$

Розміри пластини не впливають на частоту поздовжньої деформації. Поперечна деформація збільшується зі збільшенням відношення l/a . При різниці потенціалів до 2500 В існує пряма залежність деформації і напруги. При високих напругах деформація збільшується не так інтенсивно. Амплітуда коливань складає найбільше значення, коли частота напруги і частота коливань пластини співпадають.

Якщо зрівняти два типи випромінювачів, то можна зробити висновок, що п'єзоелектричні випромінювачі можуть забезпечити велику частоту коливань ультразвуку [3].

Розглянемо роботу датчика за часом проходження сигналу. Обробка відбитого сигналу проводиться у тій же точці де і випромінювання. Такий метод є безпосереднім виявленням (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Метод з безпосереднім виявленням

Ультразвукові датчики у момент часу T_0 випромінюють сигнал (послідовність імпульсів) тривалістю Δt , що розповсюджується в середовищі зі швидкістю звуку C . У разі досягнення об'єкту, частина сигналу відбивається від нього і повертається у приймач за час T_1 . Схема електронного пристрою призначена для обробки сигналу, вона визначає відстань, вираховуючи час $T_1 - T_0$. Для визначення відстані може використовуватись схема з одним або двома модулями датчика. У випадку з двома модулями один з них випромінює сигнал, а інший приймає відбиту його частину.

2.3.1 Ультразвукові датчики з одним модулем

Така схема має значний недолік, який полягає у тому, що після видачі сигналу, необхідний певний час для врівноваження мембрани перед початком прийому відбитого сигналу. Цей період часу називають часом тиші. Час тиші змушує працювати датчики у «сліпій» зоні, тобто коли об'єкт знаходиться дуже близько, то відбитий сигнал повертається швидше, ніж модуль налаштується на його прийом. У результаті такої роботи об'єкт не виявляється.

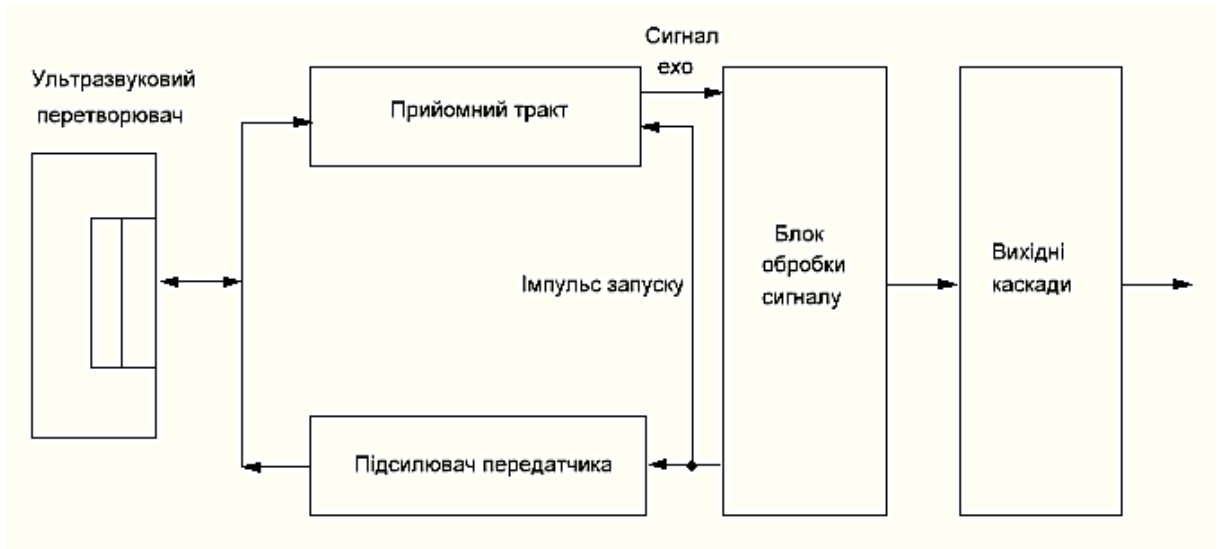


Рисунок 2.6 – Схема функціонування датчика безпосереднього виявлення

Тривалість процесів переходу від випромінювача до приймача залежить від різних факторів: особливості побудови датчика, матеріалу виготовлення, внутрішнього затухання, загальної маси коливального елемента.

Схему функціонування датчика безпосереднього виявлення наведено на рисунку 2.6. За допомогою імпульсу запуску активується схема збудження випромінювача та формується деяка послідовність імпульсів. Тим самим імпульсом запуску відбувається блокування входу підсилювача приймача. При відключенні випромінювача відбувається розблокування приймача. Відновлення приймача відбувається близько 300 мкс, що є набагато менше ніж час заспокоювання випромінювача. В результаті цього параметри приймача не впливають на розмір зони тиші.

При розміщенні об'єкта з необхідною здатністю відбивання в контрольованій зоні, відбитий сигнал збуджує на мембрані змінну напругу високої частоти, яка обробляється методами обробки сигналів аналогового типу: підсилюється, обмежується, приходить на компаратор. Ця напруга перевищує задане значення порогу виявлення, що є сигналом того, що об'єкт знаходиться в контрольованій зоні. Схема електронного пристрою фіксує проміжок часу, який минув від моменту активації випромінювача і створює на

виході електричний сигнал. Тривалість цього сигналу залежить від інтервалу часу і передається на цифровий індикатор. Схема керування, після реєстрації першого сигналу відбиття, затримує формування наступного пускового імпульсу. При цьому вона очікує на відбитий сигнал з найбільш віддалених об'єктів.

2.3.2 Ультразвукові датчики з двома модулями

Значно скоротити зону тиші можна шляхом використання двох різних модулів для випромінювача і приймача. При цьому необхідно створити найбільшу чутливість схеми правильним вибором однакової частоти резонансу для приймача і відбивача.

Розмір зони тиші є важливим параметром ультразвукового датчика. Тому виробники намагаються знизити його величину різними методами. Для цього використовують метод відслідковування межі виявлення. На малій відстані протягом процесу переходу сигнал встигає багато разів подолати шлях між об'єктом і сенсором. Точність виявлення значно зменшується внаслідок спотворень, які вносить сигнал з багаторазовим відбиттям. Похибка такого методу збільшується під час приближення до об'єкту. Це змушує знайти компроміс між точністю вимірювання хибного сигналу та чутливістю виявлення. На рисунку 2.7 показано спосіб відслідковування порогу виявлення.

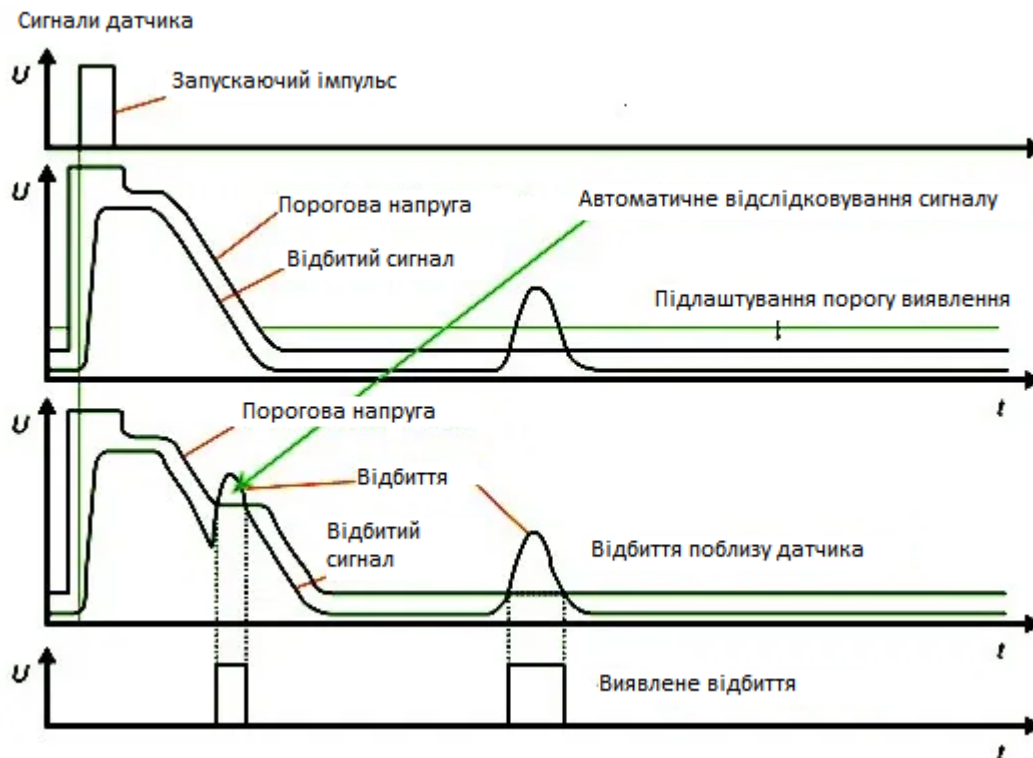


Рисунок 2.7 - Спосіб відслідковування порогу виявлення

Даний спосіб полягає у тому, що напруга порогу детектора, яка подається на комутатор, створюється напругою, що змінюється у часі і копіює форму закінчення набору імпульсів, що формуються під час затухання коливань мембрани. Проблема полягає у тому, що детектору не відомо який з відбитих сигналів подолав поріг виявлення. На рисунку 2.7 видно, що другий з відбитих сигналів виявився зареєстрованим. Це призвело до визначення відстані величиною, яка переважає дійсну величину вдвічі. Така ситуація є недопустимою, тому датчики підлягають налаштуванню. У таблиці 2.4 наведено приблизні властивості ультразвукових датчиків в залежності від відстані.

Таблиця 2.4 – Приблизні властивості ультразвукових датчиків в залежності від відстані

Відстань, мм. (частота)	Зона тиші, мм.	Діапазон зондування, мм.	Діапазон налаштування, мм.
500 (390 кГц)	0...30	30...350	50...500

2000 (175 кГц)	0...80	80...2000	120...2000
4000 (85 кГц)	0...200	200...4000	240...4000
6000 (65 кГц)	0...350	350...6000	400...6000

Використання такого методу дає можливість знизити зону тиші у два рази. Але для використання датчиків поблизу зони тиші необхідні детальні розрахунки. Тому у властивостях датчика по відстані крім інтервалу зондування вказано ще інтервал налаштування.

Інтервал зондування – інтервал відстані виявлення, який визначається лише можливостями датчика у вигляді направленості та потужності променя, а також властивостями об'єкту.

Інтервал налаштування – це інтервал відстаней, у якому можна регулювати датчик за місцем експлуатації для його найкращого застосування. При цьому необхідно враховувати розташування об'єкту відносно датчика і його властивості.

2.3.3 Вибір ультразвукового датчика

Спираючись на вище описані дослідження можна зробити висновок, що для реалізації ультразвукового вимірювача температури потрібно використати ультразвукові датчики з двома модулями, тобто окремо модуль випромінювача і приймача ультразвукового сигналу. На ринку представлено досить велику кількість подібних приладів, серед яких було обрано датчик HC-SR04.

Робота модуля заснована на принципах ехолокації. Модуль посиляє ультразвуковий сигнал і приймає його відбитим від об'єкта. Вимірявши час між відправкою і отриманням імпульсу можна виміряти відстань до об'єкта, а якщо відстань буде сталою то за зміною часу можна визначити температуру середовища.

Датчик відстані HC-SR04 (рисунок 2.8) є приладом безконтактного типу, який забезпечує високоточне вимірювання і стабільність. Діапазон дальності складає від 2 до 400 см [15]. На його роботу не мають суттєвого впливу дія

електромагнітного випромінювання та сонячної енергії. У комплекті з датчиком знаходяться ресивер і трансмітер.



Рисунок 2.8 – Ультразвуковий датчик HC-SR04

Ультразвуковий датчик HC-SR04 має наступні параметри:

- Напруга живлення 5В;
- Робочий параметр сили струму – 15мА;
- Сила струму у пасивному стані - < 2мА;
- Кут огляду - 15°;
- Зона тиші – 0,3 см;
- Кут вимірювання - 30°;
- Тривалість імпульсу – 10⁻⁶с.

Датчик має чотири виводи для підключення до Arduino:

- Контакт живлення – +5В;
- Вивід сигналу входу – Trig (Т);
- Вивід сигналу виходу – Echo (R);
- Вивід заземлення – GND.

В основу принципу дії будь якого ультразвукового датчика покладено явище відбивання акустичних хвиль, що розповсюджуються у повітрі. Але, як відомо, швидкість розповсюдження звуку у повітрі залежить від властивостей самого повітря (в першу чергу від температури). Датчик, який випускає хвилі і

заміряє час до їх повернення не має можливості робити поправку на температуру, тому бере для розрахунків середню величину. В реальних умовах через фактор температури повітря датчик може помилятися на 1 – 5 см. Фактор відстані до об'єкта є важливим, оскільки збільшується ймовірність відбивання сигналу від сусідніх об'єктів, та і сам сигнал затухає зі збільшенням відстані.

Висновки: Отже, у даному розділі було розглянуто необхідні умови та виділено основні формули, на які спирається розробка даного пристрою. Також було розглянуто елементну базу, вибрано плату Arduino та ультразвукові датчики. Визначено, що для реалізації ультразвукового вимірювача температури потрібно використати ультразвукові датчики з двома модулями.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Підключення ультразвукового датчика до Arduino

Модуль HC-SR04 підключається за допомогою чотирьох провідників. Контакти VCC і GND використовуються для підключення живлення, а Trig і

Echo – для відправки і прийому сигналів датчика. Підключити їх треба до пінів 10 і 11 відповідно (рисунок 3.1) [15].

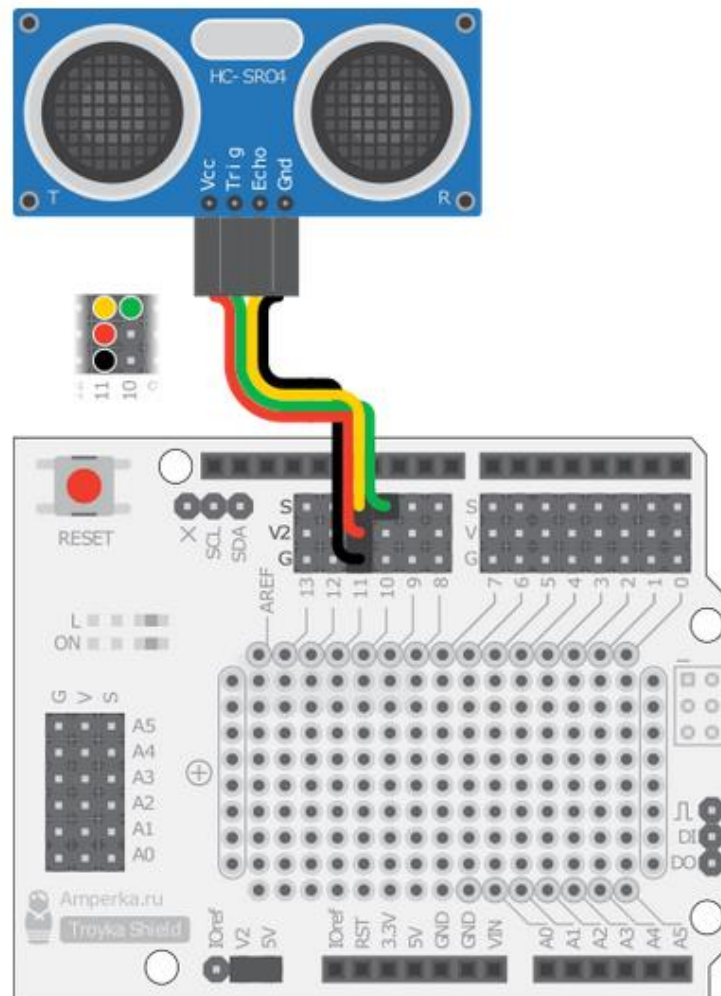


Рисунок 3.1 – Підключення ультразвукового датчика до Arduino

Напруга живлення схеми становить 5В. Модуль працює зі схемами, напруга яких складає також 3.3В – в такому випадку її варто підключати до пінів з групи від P8 до P13. При цьому варто встановити джампер вибору живлення V2 на Trojka Shield у положення V2 + V5. Вивід мікроконтролера з'єднаний з виводом Echo повинен відповідати 5В.

Роботу дальноміра показано на рисунку 3.2.

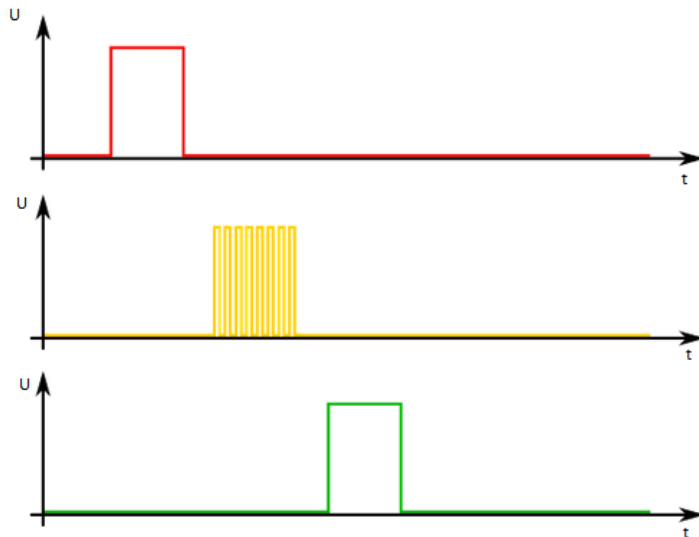


Рисунок 3.2 – Графік роботи дальноміра

Для того щоб ініціювати відправку сигналу випромінювачем, необхідно подати високий сигнал тривалістю 10 мкс на вивід Trig. Після отримання сигналу тривалістю 10 мкс на вивід Trig, модуль генерує набір з восьми сигналів частотою 40 кГц і встановлює високий рівень на виводі Echo. Після отримання відбитого сигналу модуль встановлює на виводі Echo низький рівень. Знаючи тривалість чистого сигналу на виводі Echo можна вирахувати відстань, помноживши час, який витратив звуковий імпульс, перед тим як повернутися до модуля, на швидкість розповсюдження звуку в повітрі (340 м/с).

Функція Pulsein дозволяє визначити тривалість імпульсу в мкс. Результат роботи цієї функції записується у змінну duration. Після цього можна визначити відстань, перевірши швидкість з м/с у см/мкс:

$$\text{Distance} = \text{duration} * 340 \text{ м/с} = \text{duration} * 0.034 \text{ м/мкс} \quad (3.1)$$

Перетворимо десятковий дріб у звичайний:

$$\text{Distance} = \text{duration} * 1/29 = \text{duration} / 29 \quad (3.2)$$

Беручи до уваги те, що звук подолав відстань до відбивача і назад, результат варто розділити на 2:

$$\text{Distance} = \text{duration} / 58 \quad (3.3)$$

Вище описані вирази занесемо у програму Serial Monitor (рисунок 3.3):

```
ultrasonic.ino
// Укажем, что к каким пинам подключено
int trigPin = 10;
int echoPin = 11;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
}

void loop() {
  int duration, distance;
  // для большей точности установим значение LOW на пине Trig
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  // Теперь установим высокий уровень на пине Trig
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  // Подождем 10 мс
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  // Узнаем длительность высокого сигнала на пине Echo
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  // Рассчитаем расстояние
  distance = duration / 58;
  // Выведем значение в Serial Monitor
  Serial.print(distance);
  Serial.println(" cm");
  delay(100);
}
```

Рисунок 3.3 – Програма для обрахунку відстані

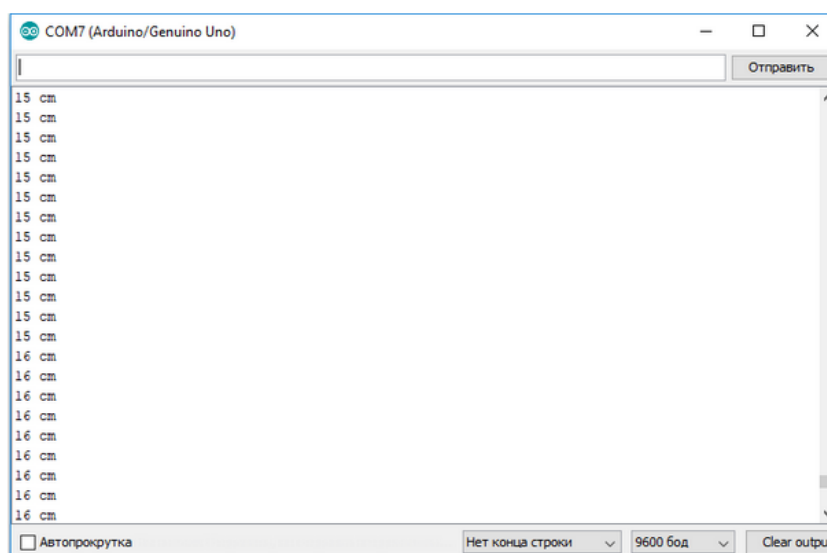


Рисунок 3.4 – Результат обрахунку відстані

Отже, для вірного відображення відстані, а, відповідно, і температури необхідно максимально симетрично розмістити датчики один навпроти іншого. Розміри датчиків вказані на рисунку 3.5, характеристика випромінювання ультразвукового сигналу на рисунку 3.6.

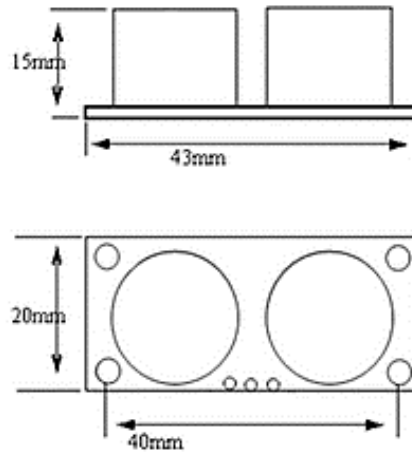


Рисунок 3.5 – Фактичні розміри плати з випромінювачем та приймачем

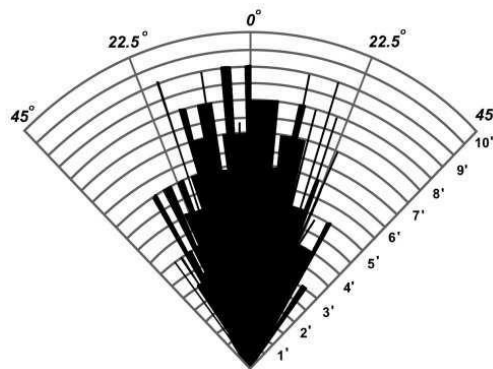


Рисунок 3.6 – Діаграма направленості ультразвукового випромінювання

Працює прилад за допомогою вбудованої бібліотеки, відповідні команди наведені далі:

- `sonar.ping()`; - задає затримку повернення сигналу у мкс, якщо ехо сигналу не повертається задається 0;
- `sonar.ping_in()`; - встановлює затримку відстані у дюймах, або 0, якщо відбитий сигнал не повернувся у зазначений період;
- `sonar.ping_cm()`; - встановлює затримку відстані у сантиметрах, або 0, якщо відбитий сигнал не повернувся у зазначений період;
- `sonar.ping_median(iterations)`; - випромінювання кількох сигналів для визначення затримки (за замовчуванням 5), після повернення яких середня затримка визначається у мкс;

- `sonar.convert_in(echoTime)`; - конвертує затримку в мкс у дюйми;
- `sonar.convert_cm(echoTime)`; - конвертує затримку у мкс у сантиметри;
- `sonar.ping_timer(function)`; - надсилає функцію дзвінка для перевірки встановлення з'єднання;
- `sonar.check_timer()`; - перевіряє чи повернувся сигнал у зазначений ліміт відстані;
- `timer_us(frequency, function)`; - функція виклику кожної частоти у мкс;
- `timer_ms(frequency, function)`; - функція виклику кожної частоти у мс;
- `timer_stop()`; - зупинка відліку.

3.2 Експериментальні дослідження

Отже, за допомогою Arduino і ультразвукових датчиків можна розробити прилад для визначення температури повітря. Для цього розпаяну пару датчиків, або кілька пар датчиків, необхідно розмістити симетрично один навпроти одного (рисунок 3.7)

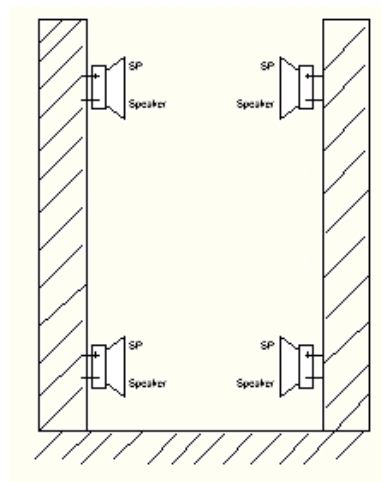


Рисунок 3.7 – Розташування ультразвукових датчиків у приміщенні

Оскільки швидкість звуку змінюється приблизно на 1 м/с при зміні температури приблизно на 1,5 °С, то потрібно звернути увагу на те, що пориви теплого або холодного повітря можуть суттєво викривити показники температури. З діаграми (рисунок 3.8) видно, що згідно з експериментом, навіть

повільна зміна температури викликає дрейф вимірної швидкості, а швидка зміна температури на 1 °C стрибком змінило виміряну швидкість вітру на 1,5 м/с., у той час як датчик температури повільно обробляє цей вимір. Цей експеримент показує наскільки велика різниця у швидкодії між ультразвуковим виміром температури та класичним методом.

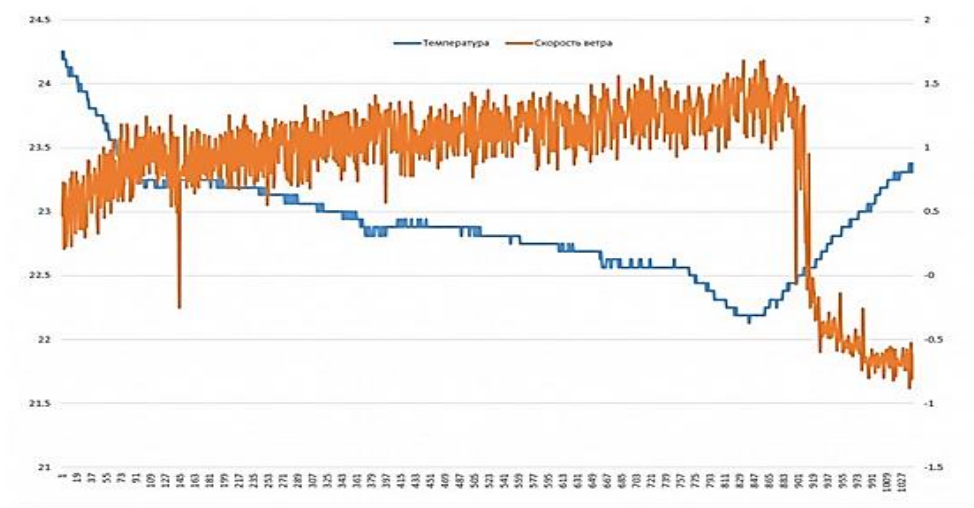


Рисунок 3.8 – Залежність температури від швидкості вітру

Отож, якщо заміряти швидкість звуку на відомій відстані спочатку в одному напрямку, потім в іншому, то різниця цих показів поділена навпіл і буде шуканою швидкістю вітру. При цьому, зміна температури в діапазоні ± 25 °C створює похибку $\pm 4\%$, що є досить прийнятним результатом.

У промислових зразках датчики по черзі виконують роль приймача і передавача. У нашому випадку для цього доведеться підключити передавачі напряму до arduino і програмно генерувати 8 імпульсів з частотою 40 кГц, після чого виділяти їх на приймачеві. Враховуючи певні труднощі при виконанні цієї задачі доцільніше придбати ще пару датчиків і значно спростити код програми.

Для початку потрібно симетрично розмістити датчики один навпроти другого, від цього залежить точність вимірювань. Один з комплектів датчиків потрібно повернути на 180° , а випромінювачі з'єднати між собою в одному корпусі. В ідеалі заміри швидкості звуку повинні показати ідентичні

результати. Після проведення випробувань і порівнянь з класичним датчиком температури можна зробити висновок, що при такій конструкції досить мала кількість завад, а покази досить точні, незалежно від температури (рисунок 3.9).

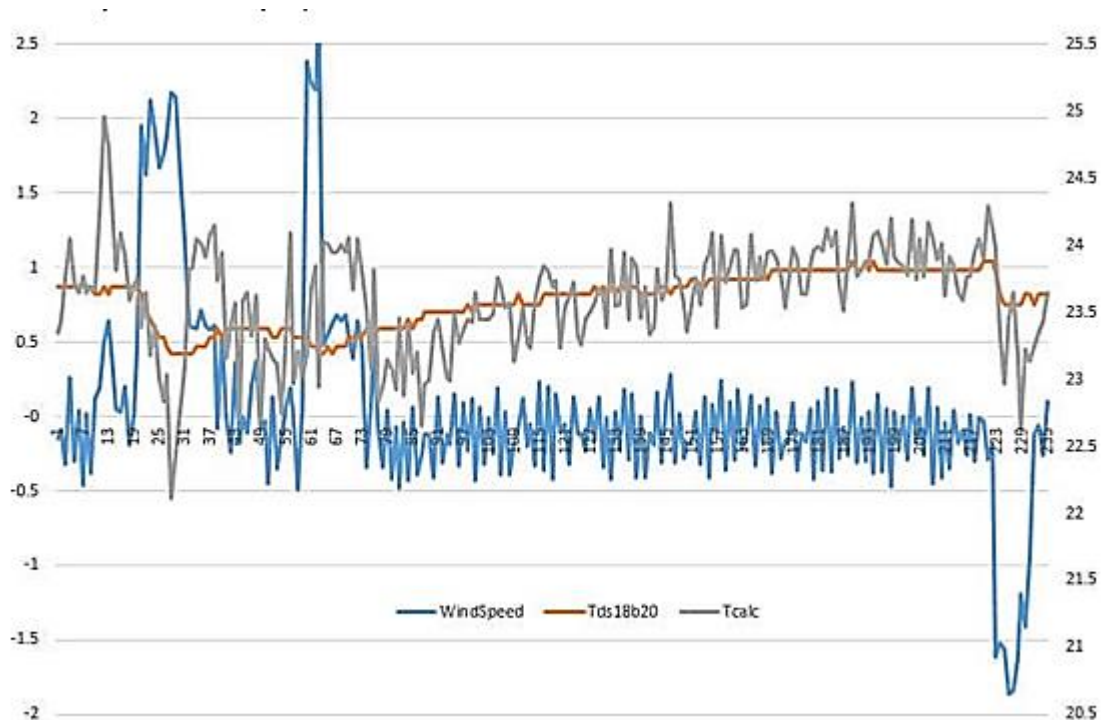


Рисунок 3.9 – Графік роботи приладу при зміні швидкості вітру

Для проведення експерименту було використано побутовий вентилятор, який скерував потік повітря від однієї пари датчиків до іншої. З графіка видно, що і ультразвукові датчики і датчик температури TDS18B20 відреагували на більш прохолодне повітря, але ультразвукові датчики відреагували значно скоріше і з більшою точністю. Далі протягом паузи можна спостерігати поступове збільшення температури і чудову кореляцію між розрахованою температурою (від ультразвуковиз датчиків) та виміряною датчиком теператури. В кінці експерименту вентилятор було встановлено у зворотньому напрямку, що чітко відобразилося на правій частині графіку [16].

Оскільки швидкість звуку залежить не лише від температури а і від вологості (не значною мірою) можна використати датчик вологості (наприклад DHT-21), проте великої різниці у показах не спостерігається. Виходячи з цього

у кодї програми є можливість для підключення такого датчика, якщо ж він підключений не буде, то вологість у розрахунках буде прийматися рівною 50%.

Також у кодї програми є зчитування температури з датчика температури DS18B20, проте у розрахунках його дані не використовуються, а лише виводяться як еталонні.

Код програми матиме наступний вигляд:

```
#define DEFINE_DISTANCE 0.22 // відстань між датчиками
#define MES_PAUSE      90    // пауза між вимірами для затухання
відбитих сигналів. Для коректної роботи не менше 1 мс.
#define MES_AVERAGE    8    // скільки вимірів використати для
виведення середньої температури.
```

```
#define PRINT_PERIOD  500 // період виводу вимірів в термінал, ms
#include <EEPROM.h>
#define FALSE 0
#define TRUE 1
#define Echo1 2
#define Echo2 3
#define Echo3 8
#define Echo4 5
#define Trig1 6    // HC-SR04 №1
#define Trig2 7
#define Trig3 4    // HC-SR04 №2
#define Trig4 9
#define Pow1 10
#define Pow2 11
#define Pow3 12
#define Pow4 13
#define T_ABS      273.15 // температура абсолютного нуля
#define PRINT_LOOP PRINT_PERIOD/(4*(MES_PAUSE)) // скільки
повних циклів пропустити перед виводом вимірів у термінал.
```



```

float defDist1 = DEFINE_DISTANCE;
float defDist2 = DEFINE_DISTANCE;
float Tcalc = 0;      // температура повітря (розрахункова)
const float DHThum = 50; // % вологості
float M = 0.02895;    // молярна маса, кг/моль
const float R = 8.31447; // універсальна газова константа Дж/(моль*К)
const float P = 761 * 133.3; // тиск в Па. 101325 на рівні моря
float X = 1.4 * R / M ;
float c = sqrt( X * (Tcalc + T_ABS)); // швидкість звуку, м/с
float impulseTime1 = defDist1 / c;
float impulseTime2 = defDist2 / c;
unsigned char count = 0; // лічильник циклів
// звичайний фільтр для визначення середнього значення
float filterA(float y1, float y)
{
    return ((MES_AVERAGE - 1) * y1 + y) / MES_AVERAGE;
}
// виміряємо затримку проходження звуку між датчиками, сек
float measument(unsigned char Trig, unsigned char Echo, unsigned char Pow)
{
    float y;
    digitalWrite(Pow, HIGH);
    delay(MES_PAUSE);
    digitalWrite(Trig, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(Trig, LOW);
    y = pulseIn(Echo, HIGH);
    if (count > PRINT_LOOP) Serial.print(String(y, 0) + char(9));
    digitalWrite(Pow, LOW);
    return y * 1e-6;
};

```

```

// записуємо в flash-пам'ять відстань між датчиками
void StoreDefDist()
{
  EEPROM.put(0, defDist1);
  EEPROM.put(1 * sizeof(float), defDist2);
}

// зчитуємо з flash-пам'яті відстань між датчиками
float GetDefDist(int adress)
{
  float dd;
  EEPROM.get(adress, dd);
  if (dd <= 0) dd = DEFINE_DISTANCE;
  return dd;
}

// розрахунок швидкості звуку в залежності від температури, тиску і
вологості void GetC(float t) {
  M = (28.95 - 10.934 * DHTHum * 0.01 * (133.3 * 4.579 * exp(17.14 * t /
(235.3 + t))) / P) / 1000;
  X = 1.4 * R / M ;
  c = sqrt( X * (t + T_ABS));
}

void setup() {
  pinMode(Pow1, OUTPUT);
  pinMode(Pow2, OUTPUT);

  pinMode(Trig1, OUTPUT);
  pinMode(Trig2, OUTPUT);
  pinMode(Echo1, INPUT);
  pinMode(Echo2, INPUT);
  digitalWrite(Pow1, HIGH);
  digitalWrite(Pow2, HIGH);
  defDist1 = GetDefDist(0); // читаємо з flash-пам'яті відстань між датчиками

```

```

defDist2 = GetDefDist(1 * sizeof(float));
Serial.begin(57600);
while (!Serial) {
; // wait for serial port to connect. Needed for native USB port only
}

Serial.println("impT1\timpT3\timpT2\timpT4\tdist1\tdist3\tdist2\tdist4\tTcalc\t
v1\tv2\tWD\tv3 " + String(PRINT_LOOP));
}

void loop() {
// період вимірювань = 1 / ( 4e-3 * (MES_PAUSE + 1))
impulseTime1 = measument(Trig1, Echo1, Pow1);
impulseTime2 = measument(Trig2, Echo2, Pow2);
//if (count > MES_AVERAGE) Serial.print(String(impulseTime1*1e6) + char(9));
Tcalc = filterA(Tcalc, sq((defDist2 + defDist4 + defDist1 + defDist3)
/(impulseTime1 + impulseTime3 + impulseTime2 + impulseTime4) ) / X - T_ABS);
if ((Tcalc > 70) | (Tcalc < -50)) Tcalc = 0;
GetC(Tcalc);
float Speed_of_sound1 = defDist1 / impulseTime1 ;
float Speed_of_sound2 = defDist2 / impulseTime2 ;
float v1 = ((Speed_of_sound2 - Speed_of_sound1) / 2);

if (count > PRINT_LOOP) {
Serial.println(
String(c, 5) + char(9) + String(Tcalc) + char(9) + String(v1) + char(9) +
String(v2) + char(9) + String(wd) + char(9) + String(v3)
);
count = 0;
}

while (Serial.available() > 0) {
char inCh = Serial.read();
// встановлення температури, формат команди: t21.5

```

```

    if (inCh == 't') {
        String a = Serial.readString();
        Tcalc = a.toFloat();
        GetC(Tcalc);
    }
    // u - калібровка (встановлення 0). формат команди: u
    if ((inCh == 't') | (inCh == 'u')) {
        defDist1 = impulseTime1 * c ;
        defDist2 = impulseTime2 * c ;
        defDist3 = impulseTime3 * c ;
        defDist4 = impulseTime4 * c ;
        StoreDefDist();
    }
}

count++;
}

```

Висновки: Отже, у цьому розділі було обрано ультразвукові датчики та плату Arduino для виготовлення макету. Було розроблено дослідний макет пристрою та проведено експериментальні дослідження із порівнянням показів ультразвукового датчика та класичного датчика температури. Для цього було створено код програми, лістинг якого відображено в даному розділі.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності. В результаті оцінювання робиться висновок щодо напрямів (особливостей) організації подальшого її впровадження з врахуванням встановленого рейтингу.

Результатом магістерської кваліфікаційної роботи «Метод і засоби вимірювання температури середовища» є розробка ультразвукового вимірювача температури. Для проведення технологічного аудиту залучено 3-х незалежних експертів. У нашому випадку такими експертами є керівник магістерської роботи к.т.н., доц. Гарнага В. А. та провідні викладачі кафедри ОТ – к.т.н., доц. Крупельницький Л. В. та к.т.н., доц. Богомолів С. В.

Проведено оцінювання комерційного потенціалу розробки за 12-ма критеріями, наведеними в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Крит.	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено робоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює ціна аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює ціна аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів

Продовження таблиці 4.1

Крит.	0	1	2	3	4
4	Технічні та	Технічні та	Технічні та	Технічні та	Технічні та

	споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	споживчі властивості продукту на рівні аналогів	споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненість					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві

Продовження таблиці 4.1

11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окуп-	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій
----	--	---	--	--	---

		інвестицій ільше 10-ти років	окупності інвестицій більше 5-ти років	ностіінвести- цій від 3-х до 5-ти років	менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки занесено в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали, посада експерта		
	1. <u>Гарнага В.А.</u>	2. <u>Крупельницький Л. В.</u>	3. <u>Богомолів С. В.</u>
	Бали, виставлені експертами		
1	2	3	4
1	2	3	2
2	2	2	1
3	4	3	3
4	2	3	3
5	4	4	4
6	1	2	1

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4
7	3	3	3
8	4	4	4
9	3	3	3

10	4	4	4
11	4	4	4
12	4	4	4
Сума балів	СБ ₁ = 37	СБ ₂ = 39	СБ ₃ = 36
Середньоарифметична сума балів СБ	СБ = 37,3		

За даними таблиці 4.2 можна зробити висновок, щодо рівня комерційного потенціалу розробки. Зважимо на результат й порівняємо його з рівнями комерційного потенціалу розробки, що представлено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 – 10	Низький
11 – 20	Нижче середнього
21 – 30	Середній
31 – 40	Вище середнього
41 – 48	Високий

Оскільки СБ = 37, то можна зробити висновок, що рівень комерційного потенціалу розробки є вище середнього. Проаналізуємо суть технічної проблеми та розглянемо аналоги.

У першому розділі було розглянути конкурентно спроможні аналоги та проведено порівняння з новою розробкою. Головними конкурентами серед розглянутих аналогів є пірометри, оскільки вони також вимірюють температуру безконтактним методом. В якості аналога було обрано колірний пірометр. Основними недоліками такого приладу є неможливість виміряти температуру середовища. Також до недоліків можна віднести необхідність підготовки

персоналу для роботи з приладом, висока залежність від початкового калібрування, неможливість дистанційного зняття показів.

У розробці дана проблема вирішується використанням ультразвукових датчиків для вимірювання температури середовища, за допомогою визначення швидкості проходження ультразвукової хвилі. Використавши 3 пари ультразвукових датчиків, які розташовані на різній висоті, можна отримати 3 різні температури у приміщенні. Також продукт випереджає аналог за такими параметрами як: швидкодія, простота роботи (покази можуть зніматися з певною періодичністю, та заноситись у таблицю автоматично), значно менша вартість, можливість вимірювання температури середовища.

У таблиці 4.4 наведені основні технічні показники аналога і нового продукту.

Таблиця 4.4 – Основні технічні показники аналога і нового продукту

Показники	Аналог	Нова розробка	Відношення параметрів нової розробки до параметрів аналога
1	2	3	4
Швидкодія, сек	<1	<1	0,8
Інерційність, сек	>5	≈0	1
Максимальна температура вимірювання, °С	>5000	110	0,35

Продовження таблиці 4.4

1	2	3	4
Можливість дистанційної роботи	Ні	Так	0,3
Необхідність спеціальних знань для роботи з приладом	Так	Ні	0,3
Вартість, грн.	4000	700	0,2

Дана розробка дозволяє вирішити точкові питання, які досі залишаються не вирішеними, а саме: дозволить вимірювати температуру миттєво та у різних шарах приміщення (на рівні підлоги, посередині, на рівні стелі). Це може бути корисним у лабораторіях та на підприємствах де відбувається відкрита хімічна реакція і необхідний постійний контроль за температурою. Такими підприємствами можуть бути котельні, опалювальні пункти і т.д., особливо ті, які мають дистанційне керування. Це пов'язано з тим, що під час виходу з ладу обладнання, незаплановані витoki чи пориви, температура збільшується перш за все на рівні стелі (через пару), а термометри встановлені на певній висоті від підлоги, до того ж з великою інерційністю, що не дозволяє реагувати миттєво.

Основними конкурентами на ринку є розробники різноманітних засобів вимірювання температури, проте жоден з них не пропонує подібного рішення проблеми. Існують різноманітні контактні і безконтактні вимірювачі температури, але вони, зазвичай, мають високу інерційність, або складність у використанні, або неможливість віддаленого зняття показів. Подібні прилади використовуються у авіабудуванні, та тунелебудуванні для визначення, здебільшого, швидкості і напрямку вітру. Такі прилади досить дорогі, в межах 5-7 тис. грн., і здатні вирішити проблему не повністю (тобто лише у тунелі). Тому даний продукт є новою розробкою. Він забезпечує можливість моніторингу температури у приміщенні. Такий прилад буде корисний у хімічних лабораторіях, де проводяться відкриті реакції, у приміщеннях котелень, серверних, бібліотеках, тощо. Безпосередніми споживачами є великі компанії та юридичні особи. Реалізація продуктів буде проводитися шляхом продажу обладнання на сайті, та участі у тендерах на модернізацію приміщень. Пропонований продукт повинен вимірювати температуру безконтактним методом та бути безінерційним, мати можливість формувати автоматичні звіти та можливість дистанційного моніторингу за результатами вимірювань.

У подальшому розробка впроваджуватиметься у сферах виробництва теплоносіїв, у IT сфері, та багатьох інших. На даний момент розробка

знаходиться на рівні дослідного зразка, усі необхідні для його виготовлення ресурси та матеріали є у наявності.

Інтерес до розробки проявляють кілька підприємств, проте предметні переговори поки що не ведуться, для просування на ринок планується розробити власний сайт. Серед методів продажу варто віддати перевагу прямим поставкам на місце експлуатації, та проведення післяпродажного та післягарантійного обслуговування. Обсяги продажів можливі на рівні 1000 одиниць на рік. Приблизна вартість становитиме 500 - 700 грн, в залежності від конфігурації обладнання.

4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної, дослідно-конструкторської та конструкторсько-технологічної роботи

1-й етап: розрахунок витрат, які безпосередньо стосуються виконавців даного розділу роботи, здійснюється за такими статтями та формулами:

1. Основна заробітна плата кожного із розробників (дослідників) Z_0 , які працюють в наукових установах бюджетної сфери:

$$Z_0 = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ (грн).,}$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн.

T_p – число робочих днів в місяці;

t – число робочих днів роботи розробника (дослідника).

Заробітна плата наукового керівника:

$$Z_{0к} = \frac{7293}{21} \cdot 3 = 1042 \text{ (грн).}$$

Заробітна плата науковця:

$$Z_{0с} = \frac{4345}{21} \cdot 66 = 11471 \text{ (грн).}$$

Отже, загальний розмір основної заробітної плати становить:

$$Z_0 = Z_{0к} + Z_{0с} = 1042 + 11471 = 12513 \text{ (грн).}$$

Таблиця 4.5 – Основна заробітна плата розробників

Найменування посади виконавця	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на оплату праці, грн.
1. Науковий керівник	7293	347	3	1042
2. Науковець	4345	207	66	11471
Всього				12513

2. Додаткова заробітна плата Z_d всіх розробників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховується як 10% від суми основної заробітної плати всіх розробників, тобто:

$$Z_d = 0,1 \cdot Z_o = 0,1 \cdot 12513 = 1251 \text{ (грн.)}$$

3. Нарахування на заробітну плату $H_{зп}$ розробників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховується за формулою:

$$H_{зп} = (Z_o + Z_d) \cdot \frac{\beta}{100},$$

де: Z_o – основна заробітна плата розробників, грн.;

Z_d – додаткова заробітна плата розробників, грн.;

β – ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування, %.

$$H_{зп} = (Z_o + Z_d) \cdot \frac{\beta}{100} = (12513 + 1251) \cdot \frac{22}{100} = 3028 \text{ (грн.)}$$

4. Амортизація обладнання, комп'ютерів A , які використовувались під час (чи для) виконання даного етапу роботи.

Дані відрахування розраховуються по кожному виду обладнання, приміщенням тощо.

У спрощеному вигляді амортизаційні відрахування A в цілому будуть розраховані за формулою:

$$A = \frac{Ц \cdot H_a}{100} \cdot \frac{T}{12} \text{ (грн.)};$$

де: $Ц$ – загальна балансова вартість всього обладнання, комп'ютерів, приміщень тощо, що використовувались для виконання даного етапу роботи, грн;

H_a – річна норма амортизаційних відрахувань. Для нашого випадку можна прийняти, що $H_a = (10...25)\%$;

T – термін, використання обладнання, приміщень тощо, місяці.

Розрахуємо амортизаційні відрахування для обладнання:

Комп'ютери:

$$A = \frac{C \cdot H_a}{100} \cdot \frac{T}{12} = \frac{30000 \cdot 10}{100} \cdot \frac{3}{12} = 750 \text{ (грн)}.$$

Таблиця 4.6 – Амортизаційні витрати обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Норма амортизації, %	Термін використання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн
1	2	3	4	5
1. Комп'ютери	30000	10	3	750
2. Принтер	6000	15	3	225
3. Електроінструмент	6000	15	3	225

Продовження таблиці 4.6

1	2	3	4	5
4. Стіл монтажний	6500	12	3	195
Всього:				1495

5. Витрати на матеріали M , що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i - \sum_1^n B_i \cdot C_v \text{ (грн).}$$

- де: H_i – витрати матеріалу i -го найменування, кг;
 C_i – вартість матеріалу i -го найменування, грн;
 K_i – коефіцієнт транспортних витрат;
 B_i – маса відходів матеріалу i -го найменування, кг;
 C_v – ціна відходів матеріалів i -го найменування, грн/кг;
 n – кількість видів матеріалів.

$$M_n = (0,05 \cdot 750 \cdot 1,1) - (0 \cdot 40) = 41,25 \text{ (грн).}$$

Вартість витрачених матеріалів наведено у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Витрати матеріалів

Найменування матеріалу	Ціна за 1 кг, грн	Витрачено, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн.
1	2	3	4	5	6
1. Припой свинцевий	750	0,05	0	40	41,25
2. Склотекстоліт	120	0,25	0,08	10	32,2

Продовження таблиці 4.7

1	2	3	4	5	6
3.З'єднувальні провідники	40	1,5	0,5	3	64,5
4. Кріплення	130	0,3	0,12	6	42,18
Всього:					180,13

6. Витрати на комплектуючі K , що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$K = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i \text{ (грн).};$$

де: H_i – кількість комплектуючих i -го виду, шт.;

C_i – ціна комплектуючих i -го виду, грн.;

K_i – коефіцієнт транспортних витрат;

n – кількість видів комплектуючих.

$$K_A = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i = 1 \cdot 150 \cdot 1,1 = 165 \text{ (грн).}$$

Таблиця 4.8 – Вартість комплектуючих

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн.	Сума, грн
1. Arduino uno	1	150	165
2. Ультразвукові датчики	4	45	216
Всього:			381

7. Інші витрати $V_{ін}$ можна прийняти як 100...300% від суми основної заробітної плати розробників.

$$V_{ін} = 2 \cdot Z_o = 25026 \text{ (грн).}$$

8. Розрахунок загальних витрат на виконання даної роботи.

Загальна вартість всієї наукової роботи визначається за $V_{заг}$ формулою:

$$V_{заг} = \frac{B}{\alpha},$$

де: α – частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даного етапу роботи, у відносних одиницях.

$$B_{\text{заг}} = \frac{25026}{1} = 25026 \text{ (грн)}.$$

Прогнозування загальних витрат ЗВ на виконання та впровадження результатів виконаної наукової роботи здійснюється за формулою:

$$ЗВ = \frac{B_{\text{заг}}}{\beta},$$

де: β – коефіцієнт, який характеризує етап виконання даної роботи.

$$ЗВ = \frac{B_{\text{заг}}}{\beta} = \frac{25026}{0,5} = 50052 \text{ (грн)}.$$

4.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

Оскільки розробка дає можливість прямо оцінити зростання чистого прибутку підприємства від впровадження результатів, то збільшення прибутку підприємства $\Delta\Pi_i$ для кожного з років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів можна розрахувати за формулою:

$$\Delta\Pi_i = (\Delta\Pi_{\text{я}} \cdot N + \Pi_{\text{я}} \Delta N),$$

де: $\Delta\Pi_{\text{я}}$ – покращення основного якісного показника від впровадження результатів розробки у даному році;

N – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки;

ΔN – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки;

$\Pi_{\text{я}}$ – основний якісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки.

В результаті впровадження наукової новизни підприємство матиме змогу надавати клієнтам новий вид послуг, заробляючи на цьому додаткових 200 грн (що автоматично збільшить чистий прибуток на 200 грн), кількість реалізації

такої послуги може скласти до 1000 шт. у перший рік, протягом другого року ще 500 шт., протягом третього – ще 300 шт.

Збільшення чистого прибутку підприємства $\Delta\Pi_i$ протягом першого року складе:

$$\Delta\Pi_1 = 200 \cdot 1 + (200 + 50) \cdot 1000 = 250200 \text{ (грн).}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства $\Delta\Pi_i$ протягом другого року складе:

$$\Delta\Pi_2 = 200 \cdot 1 + (200 + 50)(1000 + 500) = 375200 \text{ (грн).}$$

Збільшення чистого прибутку підприємства $\Delta\Pi_i$ протягом третього року (відносно базового року до провадження результатів наукової розробки) складе:

$$\Delta\Pi_3 = 200 \cdot 1 + (200 + 50)(1000 + 500 + 300) = 450200 \text{ (грн).}$$

4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Для початку потрібно розрахувати вартість інвестицій PV, що вкладаються у наукову розробку. Такою вартістю можна вважати прогнозовану величину загальних витрат ЗВ на виконання та впровадження результатів НДДКР, тобто можна вважати що $ЗВ = PV$.

У розділі 4.3 було розраховано очікуване збільшення прибутку, що його отримає підприємство від впровадження результатів наукової розробки, для кожного з років, починаючи з першого року впровадження.

Припустимо, що загальні витрати ЗВ на виконання та впровадження результатів НДДКР (або вартість інвестицій) складає 50052 грн. Результати вкладених у наукову роботу інвестицій почнуть виявлятися з першого року.

Ці результати проявляються у тому, що за перший рік підприємство отримає збільшення чистого прибутку на 200148 грн., відносно, у другому році збільшення чистого прибутку на 125000 грн., у третьому році – збільшення чистого прибутку на 75000 грн.

Тоді рисунок, що характеризує рух платежів (інвестицій та додаткових прибутків) матиме вигляд, наведений на рисунку 4.1.

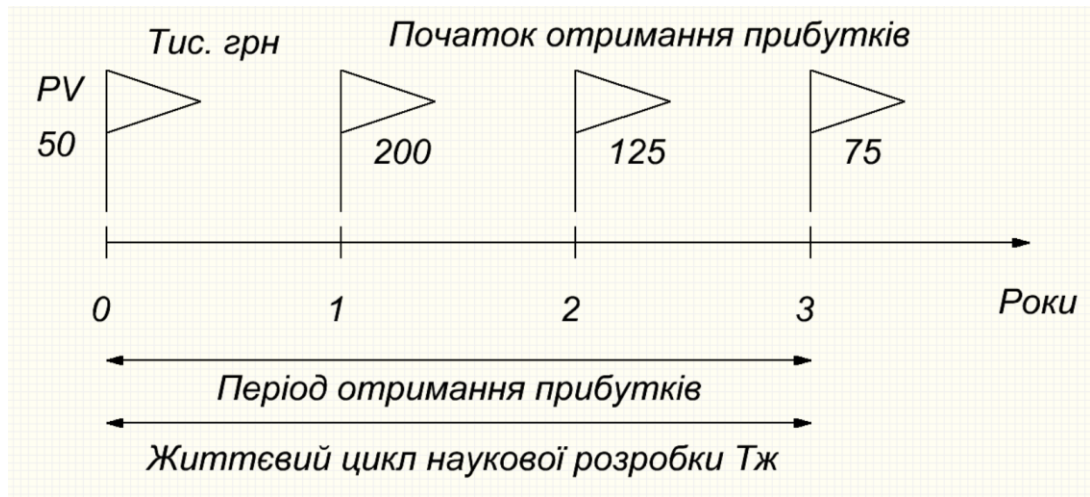


Рисунок 4.1 – Вісь часу з фіксацією платежів, що мають місце під час розробки та впровадження результатів НДДКР

Розрахунок ефективності вкладених інвестицій E_{abc} проводиться за формулою:

$$E_{abc} = (ПП - PV),$$

де: ПП – приведена вартість усіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство від реалізації результатів наукової розробки, грн.;

PV – теперішня вартість інвестицій.

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків ПП розраховується за формулою:

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t},$$

де: $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДДКР, грн;

T – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,1;

t – період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки «0».

Отже:

$$ПП = \frac{200148}{(1+0,1)^1} + \frac{125000}{(1+0,1)^2} + \frac{75000}{(1+0,1)^3} = 181953 + 103306 + 56349 = 341608 \text{ (грн).}$$

$$E_{abc} = 341608 - 50052 = 291556 \text{ (грн).}$$

Оскільки $E_{abc} > 0$, то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів НДДКР може бути доцільним.

Розрахунок щорічної відносної ефективності вкладених в наукову розробку інвестицій E_B проводиться за формулою:

$$E_B = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1,$$

де: $T_{ж}$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

Далі розрахована величина E_B порівнюється з мінімальною ставкою дисконтування τ_{min} , яка визначає ту мінімальну дохідність, нижче за яку інвестиції вкладатися не будуть. У загальному вигляді мінімальна ставка визначається за формулою:

$$\tau = d + f,$$

де: d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2012 році в Україні $d = (0,14...0,2)$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладів; зазвичай $f = (0,05...0,1)$, але може бути і значно більше.

Якщо величина $E_B > \tau_{min}$, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки, в іншому випадку фінансування наукової розробки не буде.

Спочатку необхідно спрогнозувати величину τ_{min} . Припустимо, що за даних умов $\tau_{min} = 0,2 + 0,05 = 0,25$.

Тоді відносна ефективність вкладених інвестицій в проведення наукових досліджень та впровадження їх результатів складе:

$$E_B = \sqrt[3]{1 + \frac{291556}{50052}} - 1 = 1,897 - 1 = 0,897 \text{ або } 89,7\%.$$

Оскільки $E_B = 89,7\% > \tau_{min} = 0,25 = 25\%$, то у інвестора буде зацікавленість вкладати гроші у дану розробку.

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій $T_{ок}$ визначається за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_B}.$$

Якщо $T_{ок} < 3 \dots 5$ -ти років, то фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним. В інших випадках потрібні додаткові розрахунки та обґрунтування.

$$T_{ок} = \frac{1}{0,897} = 1,15 \approx 1 \text{ рік},$$

Що свідчить про доцільність фінансування даної наукової розробки.

Висновки: Отже, після проведення даних розрахунків витрат на виконання науково-дослідної роботи встановлено, що витрати на основну заробітну плату становлять 12513 грн, затрати на матеріали – 180 грн. та на комплектуючі – 381 грн. При цьому амортизаційні витрати на обладнання становлять 1495 грн. Спрогнозувавши комерційні ефекти від впровадження наукової новизни визначено ймовірне збільшення чистого прибутку впродовж 3-х років після впровадження. Загальний розмір чистого прибутку може скласти близько 291556 грн, а окупність проекту приблизно один рік. Тому можна зробити висновок що проект буде цікавим для інвесторів.

ВИСНОВКИ

Проаналізувавши існуючі методи і засоби вимірювання температури, було вирішено дослідити можливість вимірювання температури за допомогою ультразвукових хвиль. У відповідності до технічного завдання було досліджено метод без інерційного вимірювання температури та спроектовано пристрій для таких вимірювань.

Необхідність такого пристрою пов'язана із тим, що деякі виробничі потреби вимагають ретельного контролю за зміною температури і для цього не завжди можна використати традиційні засоби (рідинні або газові термометри, пірометри, тощо.), причиною цього є складність у користуванні, або низька точність, або велика інерційність. Ультразвуковий вимірювач температури дозволяє миттєво реагувати на зміну температури, оскільки не має інерційних елементів, що залежать від температури, простий у користуванні та має достатню точність аби виявити найменші зміни температури.

При розробці даного дослідного зразку пристрою керувалися тим, що він не має містити дефіцитних та дорогих елементів, має бути простим у збірці та налаштуванні. Також він повинен забезпечувати високу надійність роботи, зручність використання.

Внаслідок виконання магістерської кваліфікаційної роботи встановлено, що розроблений дослідний зразок пристрою відповідає необхідним технічним вимогам і є універсальним пристроєм для вимірювання температури середовища ультразвуковим методом.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Луцик Я.Т. Вимірювання температури: теорія та практика / Я.Т. Луцик, О.П. Гук, О.І. Лах, Б.І. Стадник. – Львів : Вид-во "Бескид Біт", 2006. – 560 с.
2. Луцик Я.Т. Ультразвук в контрольно-измерительной технике и приборах / Я.Т. Луцик // Датчики и методы повышения их точности. – К. : Вид-во "Вища шк.", 1989. – С. 165-215.
3. Колесников А.Е. Ультразвуковые измерения / Алексей Евгеньевич Колесников. – М. : Изд-во "Стандартов", 1982. – 248 с.
4. Green, S.F. Acoustic temperature and velocity measurement in combustion gases / S.F. Green // 8th International Heat Transfer Conference. – San Francisco, 1986. – Pp. 17-22.
5. Луцик Я.Т. Енциклопедія термометрії / Я.Т. Луцик, Л.К. Буняк, Ю.К. Рудавський, Б.І. Стадник. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2003. – 428 с.
6. Dils R. High temperature optical fibre pyrometry / R. Dils // Journal of Applied Physics. – 1983. – Vol. 54. – Pp. 1198.
7. Green S.F. Temperatures in flames and gases / S.F. Green // Meas. & Contr. – 1997. – Vol. 20, № 6. – Pp. 19-22.
8. Тиль Р. Электрические измерения неэлектрических величин : пер. с нем. / Р. Тиль, И.П. Кужекина. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 192 с.
9. Venkatramani N. Simplified of high-stream temperature using dynamic thermocouples / N. Venkatramani, P. Satyamyru, N.S. Dixit // Inter. J. of Heat and Mass Transfer. – 1983. – Vol. 26, № 5. – Pp. 663-669.
10. Гейк П. Вчись аналізувати ринок : пер. з англ. / П. Гейк, П. Джексон. – Львів : Вид-во "Сейбр-Світло", 1995. – 270 с.
11. Апаратна платформа Arduino [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://arduino.ru/Hardware>.
12. Мікроконтролери AVR сімейства Mega / Євстіфеев А.В. – Москва: Видавничий дім «Додека - XXI», 2007.-595с.

13. DS18B20 DATASHEET [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/2812.pdf>.
14. Arduino Uno R3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://hcomp.ru/downloads/arduino/UNOr3/arduino_uno_r3_RUS.pdf.
15. HC – SR04 Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mouser.com/datasheet/2/813/HCSR04-1022824.pdf>.
16. Arduino Cookbook / Michael Margolis - New York O'Reilly Media - М., 2011. - 648 с.