

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

Факультет біомедичної інженерії

Кафедра біомедичної інженерії

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Владислав ШЛИКОВ

«10» червня 2024 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Медична інженерія»

спеціальності 163 «Біомедична інженерія»

**на тему: «Прилад для безконтактного двовимірного сканування
температури»**

Виконала:

студентка IV курсу, групи БМ-02

Волощак Христина Анатоліївна _____

Керівник:

с.н.с., к.т.н., доцент кафедри БМІ

Дубко Андрій Григорович _____

Рецензент:

к.біол.н., доцент кафедри ББЗЛ

Косякова Галина Василівна _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студентка _____

Київ – 2024 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет біомедичної інженерії
Кафедра біомедичної інженерії

Рівень вищої освіти

Перший (бакалаврський)

Спеціальність 163

«Біомедична інженерія»

Освітньо-професійна програма

«Медична інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Владислав ШЛИКОВ

«12» квітня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Волощак Христині Анатоліївни

1. Тема роботи «Прилад для безконтактного двовимірного сканування температури», керівник роботи Дубко Андрій Григорович доцент кафедри БМІ, к.т.н., затверджені наказом по університету від « 29 » травня 2024 р. №2165-с.
2. Термін подання студентом роботи 08 червня 2024 року.
3. Вихідні дані до роботи: науково-технічна література, програмне забезпечення Arduino IDE, Visual Studio, MATLAB, Fritzing.
4. Зміст роботи: аналіз застосування безконтактного сканування температури в медицині та їх засобів, спрощення наявних засобів; підбір компонентів до сформованої схеми приладу; збір модулів на макетній платі; підбір програмного забезпечення для роботи з обраними компонентами; обробка отриманих даних; аналіз небезпек під час експлуатації приладу.
5. Перелік ілюстративного матеріалу: таблиці, рисунки, графіки, фотографії.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Демчук Г.В. доцент кафедри «Охорона праці, промислової та цивільної безпеки»		

7. Дата видачі завдання: 12 квітня 2024 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд літератури	15 квітня 2024	
2.	Моделювання прототипу приладу для безконтактного сканування температури	15 – 19 квітня 2024 р.	
3.	Підбір компонентів для змодельованого приладу	15 – 26 квітня 2024 р.	
4.	Розробка електричної схеми для керуванням кроковими двигунами та зчитування даних з ІЧ давача в середовищі Fritzing	22 – 26 квітня 2024 р.	
5.	Збір моделі приладу на макетній платі	22 – 26 квітня 2024 р.	
6.	Підбір середовища для реалізації коду для 2Д зчитування температури та обробки даних	26 – 28 квітня 2024 р.	
7.	Оформлення розділу з «Охорони праці»	4 квітня 2024 р.	
8.	Здача роботи на нормконтроль	4 квітня 2024 р.	
9.	Отримання рецензії та відгуку керівника	4 квітня 2024 р.	
10.	Подання пакету документів по дипломній роботі до захисту (підготовка до захисту)	8 квітня 2024 р.	
11.	Захист дипломної роботи	17 квітня 2024 р.	

Студент

Христина ВОЛОЩАК

Керівник

Андрій ДУБКО

АНОТАЦІЯ

Тема дипломної роботи: «Модель приладу для безконтактного двовимірного сканування температури».

Обсяг звіту становить 64 сторінок, міститься 27 ілюстрацій, 11 таблиці. Загалом опрацьовано 32 джерела.

Актуальність: Аномальні теплові патерни людського організму можна виявити за допомогою інфрачервоної термографії (ІЧТ), що дозволяє ранню діагностику на основі теплових зображень. Цей метод визнаний у медичній діагностиці завдяки дистанційній, безконтактній і неінвазивній природі. Діагностика методом термографії, заснована на статичному вимірюванні температури малих ділянок тіла, не потребує високих вимог до вимірювальних засобів. Робота спрямована на розробку моделі приладу для переміщення пірометра і створення температурної карти з подальшою обробкою до термографічного зображення.

Мета: створення приладу на макетній платі для 2Д сканування температури.

Для досягнення мети поставлено наступні задачі:

1. Визначити основні функціональні елементи приладів для безконтактної реєстрації температур, їх особливості.
2. Побудувати функціональну схему корисної моделі приладу для безконтактного вимірювання температури.
3. Обрати відповідні елементи схеми, навести їх характеристики та обрати програмне забезпечення для роботи з даними елементами.
4. Розробити код для реєстрації матриці температур.
5. Зібрати модель приладу для безконтактного сканування температури на макетній платі, провести тестові вимірювання.

Ключові слова: інфрачервона термографія, пірометр, температурна карта, медична діагностика, безконтактне вимірювання температури.

ANNOTATION

The topic of the diploma is “Model of a device for non-contact two-dimensional temperature scanning”.

The report consists 64 pages, contains 27 illustrations, 11 tables. A total of 32 sources were processed.

Actuality: Abnormal thermal patterns of the human body can be detected by infrared thermography (IRT), which allows early diagnosis based on thermal images. This method is recognized in medical diagnostics due to its remote, non-contact and non-invasive nature. Diagnostics by thermography, based on static measurement of the temperature of small areas of the body, does not require high requirements for measuring instruments. The work is aimed at developing a model of the device for moving the pyrometer and creating a temperature map with further processing to a thermographic image.

Purpose: to create a device on a breadboard for 2D temperature scanning.

To achieve this objective, the following tasks were set:

1. Identify the main functional elements of devices for non-contact temperature recording, their advantages and disadvantages, as well as their features that can be adjusted in the device being modeled.
2. Build a functional diagram of the utility model of a device for non-contact temperature measurement.
3. Select the appropriate elements of the circuit, give their characteristics and select software to work with these elements.
4. Develop a code for registering the temperature matrix.
5. To assemble a model of the device for non-contact temperature scanning on a breadboard, to conduct test measurements.

Keywords: infrared thermography, pyrometer, temperature map, medical diagnostics, non-contact temperature measurement.

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 МЕДИКО-БІОЛОГІЧНЕ ОГРУНТУВАННЯ ТЕРМОГРАФІЇ	11
1.1. Значення температури тіла людини	11
1.2. Фізична природа ІЧ вимірювань	12
1.3. Застосування ІЧ термографії в медицині	13
1.3.1. Терморегуляція і циркуляція крові	14
1.3.2. Запальні захворювання опорно-рухового апарату	15
1.3.3. Виявлення раку молочної залози	15
1.3.4. Термограма діабетичної стопи	16
Висновки до розділу 1	17
РОЗДІЛ 2 НАЯВНІ ЗАСОБИ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ.....	19
2.1. Теплові камери	19
2.2. Пірометр (інфрачервоний термометр)	22
2.2.1. Радіаційний (інфрачервоний) пірометр	24
2.2.2. Пірометр двовимірного масиву	28
2.3. Детектори	29
2.4. Зіставлення пірометричних давачів фірми Murata	29
2.5. Показник візування	33
Висновки до розділу 2	34
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРИЛАДУ ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО СКАНУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ.....	35
3.1. Функціональна схема приладу	35
3.2. Вибір функціональних компонентів	36

					БМ02.04.2905.1706.ПЗ			
<i>Вим</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>		
<i>Розробив</i>		<i>Волощак Х. А.</i>		<i>Прилад для безконтактного двовимірного сканування температури</i>				
<i>Перевірив</i>		<i>Дубко А. Г.</i>				6	64	
<i>Реценз.</i>		<i>Косякова Г. В.</i>			<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського</i>			
<i>Н. Контр.</i>		<i>Андреев П. І.</i>			<i>ФБМІ БМ-02</i>			
<i>Затвердив</i>		<i>Шликов В. В.</i>						

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ІЧ – інфрачервоне (випромінювання)

ІЧТ – інфрачервона термографія

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

ПДУ – однорівневі поплавкові давачі

ОС – операційна система

					БМ02.04.2905.1706.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		8

ВСТУП

Порушення температури тіла є природним показником захворювання [1]. Людина, будучи гомеотермом, здатна підтримувати постійну температуру тіла, яка може відрізнятися від температури навколишнього середовища. Організм гомеотермів поділяється на 2 частини відносно температурного розподілу: ядро, яке має досить вузький діапазон коливань у 33-42°C та периферія, яка температура якої відрізняється від ядра, при цьому може відображати зміни внутрішньої температури [1].

Аномальні теплові патерни можна легко виявити за допомогою методу інфрачервоної термографії (ІЧТ), який дозволяє представити розподіл температури шкіри тіла людини. ІЧТ є швидкою, пасивною, безконтактною та неінвазивною альтернативою звичайним клінічним термометрам для моніторингу температури тіла, що дозволяє проводити ранню діагностику на основі теплових зображень [2]. Ці результати зазвичай порівнюють з іншими клінічними даними для оцінки можливих кореляцій. Незважаючи на свою неспецифічність і залежність від фону і навколишнього середовища, ІЧТ отримала широке визнання в медичному співтоваристві завдяки своїй дистанційній, безконтактній і неінвазивній природі [2]. Цей метод реєструє тільки природне випромінювання, що виходить від поверхні шкіри, і не має шкідливих радіаційних ефектів, що робить його придатним для тривалого і багаторазового використання [3-5]. Крім того, ІЧТ - це метод, що працює в режимі реального часу і дозволяє відстежувати динамічні коливання температури.

Дві помітні технології, які широко використовуються для точного безконтактного вимірювання температури, це інфрачервона термометрія (пірометри) та інфрачервона термографія (тепловізори). Перші застосовують для точкового вимірювання температури, працюють на основі недорогих ІЧ

давачів, надзвичайно точні, другі – для отримання контрастного зображення температури об’єкта та навколишнього середовища, дозволяють візуалізувати температурний розподіл, набагато дорожчі за пірометри, часто не можуть точно визначати температуру. Деяка діагностика методом термографії, заснована на стаціонарному вимірюванні температурного поля малих ділянок тіла, не висуває високих вимог до вимірювальних засобів. Таким чином, пірометри можуть застосовуватись для точних вимірювань, якщо створити модель з використанням поворотного механізму для фіксування температури в межах певної площі.

Мета дипломної роботи: спрощення приладу для стаціонарних вимірювань температури поверхні тіла людини.

Задачі дипломної роботи:

1. Визначити основні функціональні елементи приладів для безконтактної реєстрації температур, їх переваги і недоліки, а також їх особливості, що можуть бути скореговані у приладі, що моделюється.
2. Побудувати функціональну схему корисної моделі приладу для безконтактного вимірювання температури.
3. Обрати відповідні елементи схеми, навести їх характеристики та обрати програмне забезпечення для роботи з даними елементами.
4. Розробити код для реєстрації матриці температур.
5. Зібрати модель приладу для безконтактного сканування температури на макетній платі, провести тестові вимірювання.

РОЗДІЛ 1

МЕДИКО-БІОЛОГІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕРМОГРАФІЇ

1.1. Значення температури тіла людини

Порушення температури тіла є природним показником захворювання. Інфрачервона термографія (ІЧТ) дозволяє представити розподіл температури шкіри тіла людини. Вона є швидкою, пасивною, безконтактною та неінвазивною альтернативою звичайним клінічним термометрам для моніторингу температури тіла.

Останні п'ять десятиліть стали свідками постійного зростання використання тепловізійних камер для отримання кореляції між теплофізіологією та температурою шкіри. ІЧТ успішно використовується в діагностиці раку молочної залози, запальних процесів опорно-рухового апарату, діабетичної нейропатії, периферичних судинних розладів. Вона також використовувався для виявлення проблем, пов'язаних з гінекологією, трансплантацією нирки, дерматологією, серцем, фізіологією новонароджених, скринінгом гарячки та візуалізацією мозку [3]. Нинішні зусилля зосереджені на автоматичному аналізі розподілу температури областей інтересу та їх статистичному аналізі для виявлення аномалій.

Фізіологічна основа використання ІЧ-тепловізорів у медицині полягає в тому, що розподіл температури шкіри тіла людини залежить від складних взаємозв'язків, що визначають процеси теплообміну між тканинами шкіри, внутрішніми тканинами, місцевою судинною системою, метаболічною активністю та регуляцією симпатична і парасимпатична активність для підтримки гомеостазу. Таким чином, наявність захворювання локально порушує тепловий баланс, що призводить до підвищення або зниження температури шкіри як по відношенню до навколишніх областей, так і до

неураженої контрлатеральної області. Якісний пошук гіпертермальних або гіпотермальних плям та/або асиметричних теплових візерунків у контрлатеральних областях довгий час був єдиним діагностичним підходом, заснованим на тепловізорах [8].

Розумно припустити, що наявність захворювання також може впливати на динаміку локального контролю шкірної температури. Таким чином, можна отримати кількісні діагностичні параметри з тих параметрів, які описують і моделюють активність, як спонтанну, так і індуковану, системи терморегуляції шкіри [8].

1.2. Фізична природа ІЧ вимірювань

Усі об'єкти з температурою вище абсолютного нуля випромінюють електромагнітне випромінювання, яке відоме як інфрачервоне (тобто нижче червоного) випромінювання або теплове випромінювання [9-11]. Довжина хвилі цього випромінювання лежить в діапазоні 0,75–1000 мкм. Відповідно до теорії теплового випромінювання, чорне тіло розглядається як гіпотетичний об'єкт, який поглинає все падаюче випромінювання та випромінює безперервний спектр відповідно до закону Планка [10]. Інтегруючи закон Планка для всіх частот, ми отримуємо закон Стефана–Больцмана, який описує повну потужність випромінювання чорного тіла [10].

$$E = \sigma T^4, \quad (1)$$

де E — загальна потужність випромінювання ($\text{Вт}/\text{м}^2$), σ — постійна Стефана-Больцмана, $\sigma = 5,676 \cdot 10^8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$, а T — абсолютна температура (К). Для реальних поверхонь закон Стефана Больцмана модифікується до наступного вигляду

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \quad (2)$$

					БМ02.04.2905.1706.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

де ε — коефіцієнт випромінювання випромінюючої поверхні при фіксованій довжині хвилі та абсолютній температурі T . Для абсолютно чорного тіла коефіцієнт випромінювання дорівнює одиниці, але для реальних матеріалів коефіцієнт випромінювання завжди менший за одиницю. [9]

Шкіра людини поводить себе як майже чорне тіло з коефіцієнтом випромінювання 0,96–0,98. Для медичних застосувань зазвичай використовується дуже вузький діапазон довжин хвиль (8–12 мкм), який називають інфрачервоними променями тіла [9].

Пік випромінювання шкіри людини досягає 9–12 мкм. Проте детектори, що працюють на 2–5 мкм, і системи болометрів, що працюють на 15 мкм, виявилися однаково успішними в медичних застосуваннях.

1.3. Застосування ІЧ термографії в медицині

Аномальні теплові патерни можна легко виявити за допомогою ІЧТ, що дозволяє проводити ранню діагностику на основі теплових зображень. Ці результати зазвичай порівнюють з іншими клінічними даними для оцінки можливих кореляцій. Незважаючи на свою неспецифічність і залежність від фону і навколишнього середовища, ІЧТ отримала широке визнання в медичному співтоваристві завдяки своїй дистанційній, безконтактній і неінвазивній природі. Цей метод реєструє тільки природне випромінювання, що виходить від поверхні шкіри, і не має шкідливих радіаційних ефектів, що робить його придатним для тривалого і багаторазового використання. Крім того, ІЧТ - це метод, що працює в режимі реального часу і дозволяє відстежувати динамічні коливання температури. Завдяки своїм перевагам термографія була визнана ефективним альтернативним діагностичним інструментом.

що аномальна термограма молочної залози вказує на значний біологічний ризик. Пухлини, як правило, мають підвищене кровопостачання і підвищену швидкість метаболізму, що призводить до локалізованих плям високої температури над такими ділянками, що дозволяє візуалізувати їх за допомогою ІРТ (рис. 1.3). Окрім пасивної візуалізації молочної залози, на практиці також застосовуються процедури візуалізації на основі холодової стимуляції [15].

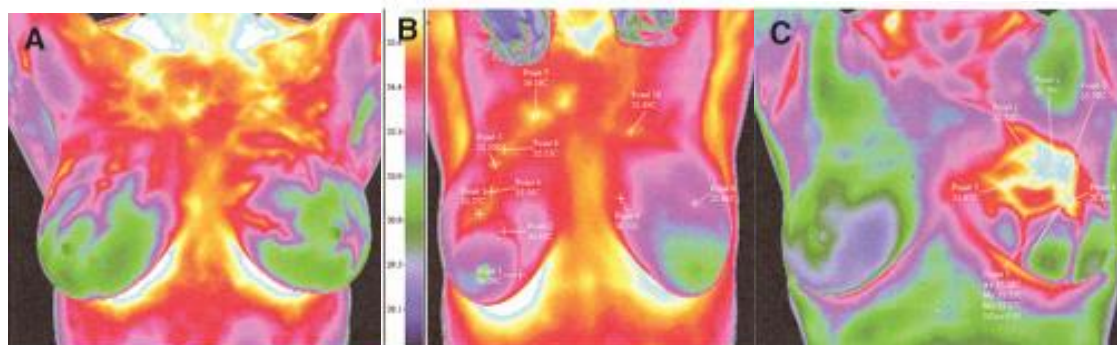


Рисунок 1.3 – Термографічні зображення молочної залози: (А) нормальне; (Б) з ознаками ранню стадію раку в правій молочній залозі; (С) - запущений рак у лівій молочній залозі [15]

1.3.4. Термограма діабетичної стопи

Зміна температури стоп у пацієнтів з неврологічними захворюваннями є прогностичним елементом появи виразки, тому інфрачервона термографія, завдяки своїм характеристикам і простоті використання, є хорошим інструментом для виявлення цієї різниці температур (рис. 1.4) [16].

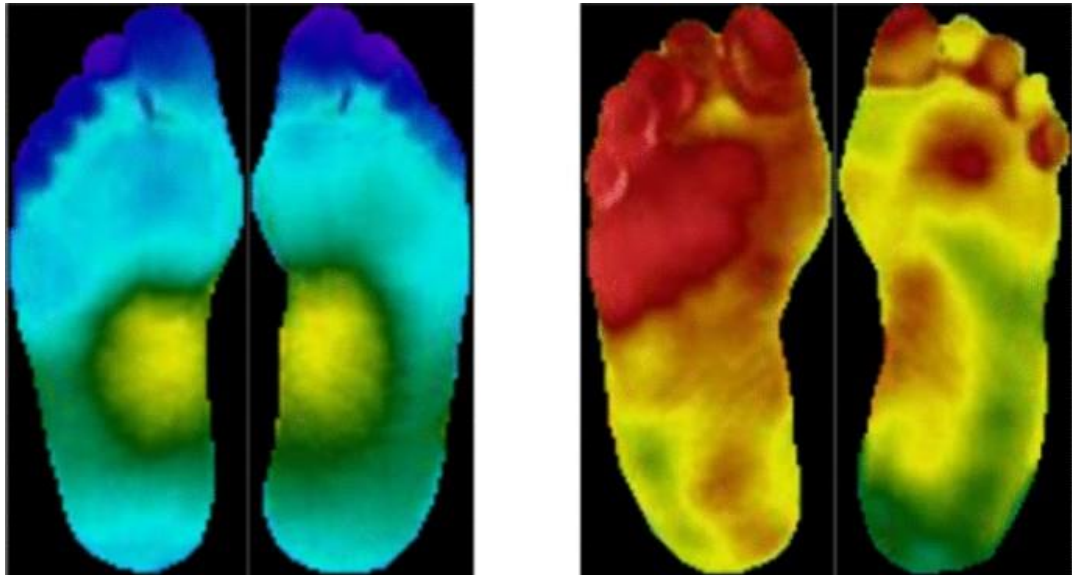


Рисунок 1.4 – Симетричний тепловий розподіл спостерігається у пацієнта без діабету (ліворуч) і відсутній у пацієнта з діабетом (праворуч)

В рамках дослідження [17] було розроблено тривимірні термограми для виявлення запалення при діабетичній хворобі стопи, продемонструвавши їх клінічну корисність. Запалені тканини, пов'язані з передвиразковими станами, можуть викликати локальне підвищення температури, яке можна виявити за допомогою ІРТ. Рання ідентифікація дозволяє вчасно втрутитися і потенційно запобігти утворенню виразки.

Висновки до розділу 1

Використання теплового випромінювання для досліджень та діагностики є важливим через високу інформативність та повну безпеку методу для об'єктів.

Аналіз наукової літератури дозволив визначити основні принципи термографії та тепловізійної оцінки стану людини, що базуються на тепловому випромінюванні тіла. Попри велику кількість наукових праць у галузі

медичної термографії, інфрачервона термографія ще не зайняла належного місця в практичній медицині серед інших методів функціональної діагностики, і залишається новою для України. Тому проведення досліджень щодо комп'ютеризації процесу неінвазивного вимірювання температури при гіпотермії та гіпертермії в умовах штучного кровообігу є важливим завданням біомедичної інженерії.

Також варто додати, що термограма отримується шляхом статичних вимірювань, тобто вимірюваний об'єкт не повинен перебувати в русі. Таким чином для вимірювань не потрібний моментальний відгук приладу з кінцевим результатом.

					БМ02.04.2905.1706.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

РОЗДІЛ 2

НАЯВНІ ЗАСОБИ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

Дві помітні технології, які широко використовуються для точного безконтактного вимірювання температури, це інфрачервона термометрія (пірометри) та інфрачервона термографія (тепловізори) (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд: а) пірометра; б) тепловізора

Перші застосовують для точкового вимірювання температури, другі – для отримання контрастного зображення температури об’єкта та навколишнього середовища.

2.1. Теплові камери

Тепловізори — також відомі як теплові камери, інфрачервоні (ІЧ) камери або термографічні камери — знімають і відображають зображення на основі інфрачервоного (ІЧ) випромінювання (тепла), що випромінюється об’єктами [18]. На відміну від звичайних камер, які вловлюють видиме світло

для створення зображень, теплові камери виявляють різницю температур, а потім переводять ці відмінності у візуальне відображення. Отримані зображення, які називаються термограмами, представляють коливання температури різними кольорами або відтінками сірого, що дозволяє користувачам ідентифікувати зони тепла та холоду.

Існує великий клас спостерігаючих тепловізорів, що дозволяють фіксувати в темноті об'єкти за їх тепловим випромінюванням. Такі прилади використовують для охорони, полювання чи у військових цілях.

Проте для інженерних завдань такого рівня недостатньо. У сферах енергетики та промисловості широко використовуються вимірвальні тепловізори, які не лише перетворюють інфрачервоне випромінювання в видимий спектр, але й здатні вимірювати температуру поверхні об'єктів на відстані.

Основні елементи тепловізора (рис. 2.2):

- матриця (охолоджувана, неохолоджувана) - багатоелементний ІЧ-приймач, який приймає теплове випромінювання та перетворює його в електричні сигнали. Розрізняються матриці своїми розмірами, термочутливістю та роздільною здатністю;
- об'єктив (виконують з германієвої лінзи, оскільки вона прозора для ІЧ випромінювання);
- електронний блок обробки зображення - переводить електричний сигнал матриці у зображення та розфарбовує його у кольори;
- дисплей - мініатюрний екран, на який виводять зображення. Чим більша його роздільна здатність, тим чіткішим буде зображення. Зображення може бути кольоровим або мати 256 градацій сірого. Найпоширеніші режими відображення (кольорові палітри): гарячий-чорний; гарячий- білий; гарячий- червоний. Типові режими дисплеїв: повний екран; кадр у кадрі; збільшення та накладання зображень.

дозволяючи виявляти температурні аномалії; безконтактне вимірювання, яке забезпечує можливість контролю температури на безпечній відстані, що особливо важливо при роботі з гарячими об'єктами або в небезпечних умовах; можливість сканування великих площ, що підвищує ефективність моніторингу; та моніторинг у реальному часі, що дозволяє оперативно реагувати на зміни температурного режиму.

Проте тепловізори мають і певні недоліки. Відносне вимірювання температури є одним з них, оскільки недорогі моделі камер не здатні вимірювати фактичну абсолютну температуру, а лише відносну температуру між різними ділянками об'єкта або області. Також теплові камери можуть давати неточні результати через різні рівні випромінювання матеріалів у полі зору та вплив інших факторів, що призводить до помилок у вимірюванні температури. Крім того, тепловізійні камери зазвичай мають нижчу швидкість відгуку порівняно з пірометрами, що може бути недоцільним у ситуаціях з швидкою зміною температури.

2.2. Пірометр (інфрачервоний термометр)

Подібно до теплових камер, пірометри або інфрачервоні термометри є давачами, які вимірюють температуру шляхом аналізу інфрачервоного випромінювання, що випромінюється поверхнею об'єкта [18]. Однак пірометри вимірюють температуру об'єкта в одній точці, а не в усій області. Пірометри можуть лише перетворювати температуру гарячого об'єкта в градуси Цельсія (°C) або Фаренгейта (°F) — вони не створюють зображення, що показує гарячі чи холодні точки об'єкта.

Пірометри часто використовуються в промислових цілях для вимірювання об'єктів, що зазнають екстремальних температур — наприклад, розжарених або розплавлених металів або скла.

					БМ02.04.2905.1706.ПЗ	22
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

оптичний пірометр стає потужним інструментом для вивчення теплових процесів та дослідження об'єктів.

Проте, варто відзначити, що оптичний пірометр має свої обмеження. Він може відчувати тепло лише з довжиною хвилі до 0,65 мікрона. Таким чином, вимірювання температур за допомогою оптичного пірометра обмежене певним діапазоном. В той же час, радіаційні пірометри є більш універсальними, оскільки вони можуть вимірювати температури з довжиною хвилі від 0,70 мкм до 20 мкм.

2.2.1. Радіаційний (інфрачервоний) пірометр

Сучасні радіаційні термометри надають можливість вимірювати поза межами діапазону оптичного пірометра з такою ж або кращою точністю вимірювання, а також мають швидший часовий відгук, можливість точної корекції випромінювальної здатності, кращу стабільність калібрування, підвищену міцність і відносно помірну вартість. Тому далі ми будемо розглядати саме радіаційний, або ж інфрачервоний пірометр.

Існує низка параметрів, що визначають придатність пірометра для конкретного застосування [23]:

1) Показник візування (оптична роздільна здатність): це один з найважливіших параметрів безконтактних датчиків температури, який безпосередньо впливає на точність вимірювань. Висока оптична роздільна здатність дозволяє точно вимірювати температуру об'єктів на великій відстані, що є критично важливим для промислових та наукових застосувань. Для вимірювань на великій відстані доцільно обирати пристрої з високим показником візування, тоді як для вимірювань на невеликій відстані можна використовувати датчики з нижчим показником.

2) Показник чорноти (коефіцієнт випромінювання): різні об'єкти мають різну здатність випромінювати і поглинати енергію. Для точного

вимірювання температури необхідно знати точне значення коефіцієнта випромінювання кожного конкретного об'єкта, оскільки неправильне його визначення є основним джерелом похибок у вимірюваннях. Давачі можуть мати фіксований або налаштовуваний коефіцієнт випромінювання; останні є більш універсальними, оскільки дозволяють налаштувати пристрій під конкретні характеристики об'єкта.

3) Похибка вимірювання: це параметр, який вказує на точність одержуваних даних без урахування зовнішніх факторів. Він демонструє, наскільки виміряне значення може відрізнятись від реальної температури об'єкта.

4) Температурний діапазон: визначається мінімальними і максимальними значеннями, які може вимірювати пристрій. Пірометри здатні вимірювати негативні, високі та надвисокі температури, що робить їх універсальними для різних сфер застосування.

5) Лазерний цілевказівник: забезпечує точне наведення на об'єкт і позначення області вимірювання. Це особливо корисно для визначення точної точки вимірювання на великій відстані або для малих об'єктів.

6) Час відгуку: визначається часом реакції на зміну температури. У сучасних пірометрах час відгуку зазвичай не перевищує одну секунду, що дозволяє швидко отримувати дані про температуру об'єкта.

7) Роздільна здатність: це дискретність відображення показань на екрані приладу, яка визначає кількість десяткових знаків після коми. Вища роздільна здатність дозволяє отримувати більш точні та детальні вимірювання.

8) Сигналізація досягнення налаштованого мінімуму або максимуму: У сучасних ІЧ-датчиках передбачена візуальна і/або звукова сигналізація досягнення встановлених меж. Це підвищує зручність використання пристрою та забезпечує своєчасне реагування на критичні зміни температури.

певних обставин вимірювальний і візуальний канали можуть бути об'єднані (див. рис. 1.5). Також може бути оптичний канал з телескопічною системою для простого візуального наведення на об'єкт контролю. [25]

У таких пірометрах використовуються два типи детекторів: теплові (термобатарей) і фотонні (фотоелектронні помножувачі). Варто зауважити, що фотонні детектори працюють значно швидше, ніж теплові приймачі випромінювання. З цим пов'язано можливість використання фотонних датчиків для швидкісних вимірювань температури на малих за розміром об'єктах, що рухаються

Серед переваг пірометрів можна виділити наступні: точні вимірювання в одній точці на поверхні, що забезпечує високу точність температурних показників для конкретних матеріалів та застосувань, підвищуючи надійність у критичних температурних процесах; швидкий відгук, що робить їх придатними для реального часу моніторингу та керування процесами; а також економічність, що забезпечує ефективність та економію в промислових та медичних застосуваннях. Крім того, довгострокова надійність і нижчі витрати на обслуговування ще більше підкреслюють їх доступність.

До недоліків належить обмеження в можливості вимірювати температуру лише в одній точці, що не дозволяє їм сканувати великі площі. Також вони не надають візуальних зображень, що може ускладнювати виявлення теплових аномалій на поверхні об'єктів, роблячи їх менш зручними для деяких видів аналізу, де важливе значення має візуалізація температурних відмінностей. Дані з пірометра зазвичай виводяться на екран і не записуються на носій даних.

2.3. Детектори

Детектори відіграють ключову роль у будь-якому пірометрі. Вони функціонують як приймачі випромінювання, перетворюючи інфрачервоне випромінювання на електричні сигнали. Ці електричні сигнали обробляються, передаються за допомогою електронного зв'язку і відображаються на дисплеї як значення температури.

Детектори можна поділити на дві категорії: теплові детектори та квантові детектори.

Теплові детектори працюють аналогічно до термопар. Коли фотони взаємодіють з чутливим елементом теплового датчика, температура цього елемента змінюється, що, у свою чергу, впливає на певні властивості детектора. Ці зміни аналізуються і порівнюються з напругою, яка генерується термопарами.

Квантові детектори діють за принципом фотоелектричного ефекту, взаємодіючи безпосередньо з фотонами, які потрапляють на детектор. Ці детектори, відомі також як фотодіоди, працюють швидше за теплові детектори і переважно використовуються в системах візуалізації та лінійних сканерах. Проте їхня ефективність значною мірою залежить від змін температури навколишнього середовища, що вимагає компенсації цього впливу для забезпечення високої точності вимірювань.

2.4. Зіставлення пірометричних давачів фірми Murata

На даний момент випускається багато різноманітних пірометричних давачів. Розглянемо деякі з них.

					БМ02.04.2905.1706.ПЗ	29
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Із серії IRA-E420 Murata було розглянуто температурно компенсовані інфрачервоні піроелектричні датчики. Схема підключення і габаритні характеристики датчиків Murata IRAE420S1, IR a-E420QW1 і IR a-E420SW1 наведені на рисунку 2.7.

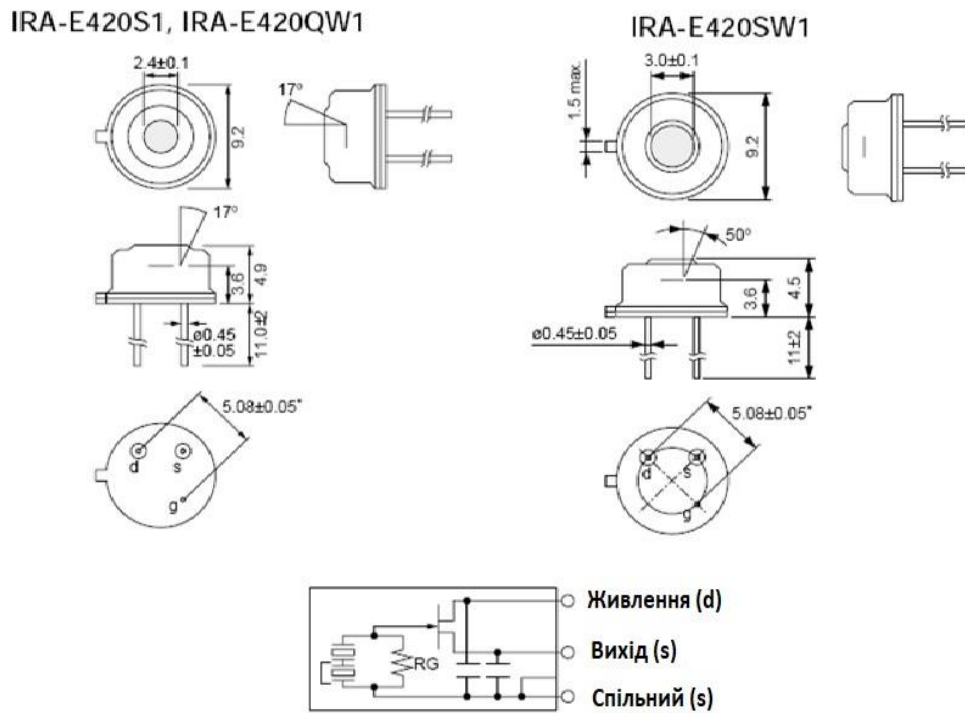


Рисунок 2.7 – Габаритні розміри і електрична схема сенсорів

Основні характеристики датчиків серії IRA-E420 наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні характеристики датчиків серії IRA-E420

Характеристика	IRA-E420S1	IRA-E420QW1	IRA-E420SW1
Типова чутливість	3.4 мВ	1.3 мВ	0.45 мВ
Кут огляду	17°		50°
Напруга живлення	3...15 В		
Діапазон робочих температур	-25...70 °С	-25...55 °С	-25...70 °С
Температура зберігання	-30...100 °С		
Габаритні розміри	9.2Ч9.2Ч4.9 мм		9.2Ч9.2Ч4.5 мм
Оптичний фільтр	1...15 мкм	4.3 мкм	4.45 мкм

Датчики Murata демонструють високу чутливість, надійність та стабільність завдяки передовим керамічним і пакувальним технологіям. Різноманітність моделей з різними характеристиками дозволяє вибрати датчики для конкретних потреб, забезпечуючи ефективність в широкому діапазоні температур. Оптичні фільтри та високе співвідношення якості до ціни роблять ці датчики економічно вигідними для різноманітних застосувань.

2.5. Показник візування

Відношення відстані до плями (D:S) - це відношення відстані між датчиком і об'єктом до розміру об'єкта, що вимірюється [28, 29]. Наприклад, при співвідношенні D:S 12:1 об'єкт діаметром 1 дюйм можна виміряти на відстані 12 дюймів (рис. 2.8, Додаток А).

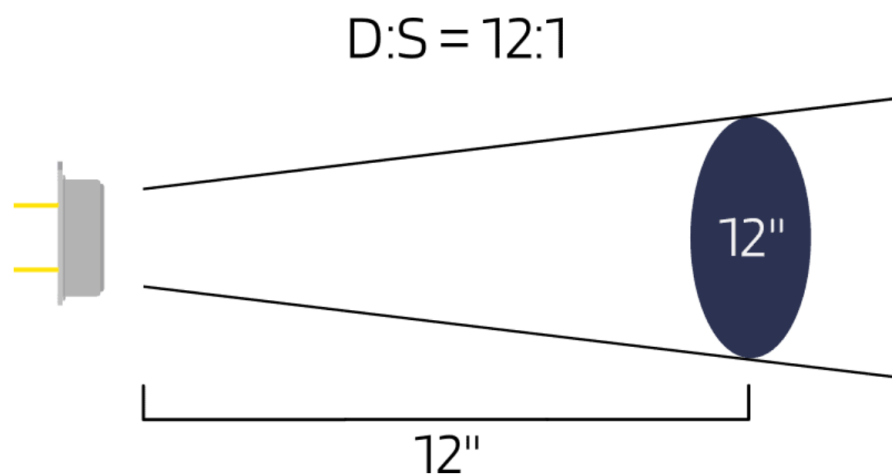


Рисунок 2.8 – Приклад показника візування в 12:1 [29]

Якщо співвідношення D:S низьке, то для більш точного зчитування об'єкт повинен бути достатньо близько до датчика. У ситуації, коли об'єкт має високу температуру, більш високе співвідношення D:S є кращим з точки зору безпеки. Показання температури можуть бути неточними, якщо об'єкт розміщено на відстані, що виходить за межі співвідношення D:S. Після деякого віддалення від

датчика показники температури починають падати. Це відбувається тому, що розмір об'єкта не повністю заповнює поле зору (field of view, FOV) датчика. Давач фіксує все інфрачервоне випромінювання в зоні FOV і повертає середнє значення температури в цій зоні.

Висновки до розділу 2

У даному розділі було розглянуто основні засоби для безконтактного вимірювання температури, до яких належить тепловізор і пірометр. Зокрема наведено модель пірометра двовимірного масиву, який може сканувати температуру за допомогою поворотного дзеркала.

У розглянутих пірометрах є набір характеристик, до яких відносяться: діапазон вимірюваних температур, відстань для вимірювань, оптична роздільна здатність D:S, діапазон робочих довжин хвиль, похибка вимірювання температури, тощо. На основі цих характеристик було порівняно інфрачервоні давачі промислової фірми Murata, оскільки ІЧ давач є основою будь-якого пірометра.

Складні оптичні і схемотехнічні частини розглянутих пірометрів наштовхнули на ідею для спрощення приладу для сканування температури, центральним компонентом якого є інфрачервоний давач. Розглянуті вище давачі допомогли скласти загальну картину характеристик, на які варто опиратися під час подальшого моделювання приладу.

3.2. Вибір функціональних компонентів

Для здійснення обробки та отримання сигналів з інфрачервоного сенсору випромінювання важливо вибрати відповідний мікроконтролер. У даному проекті процесор виконує ряд важливих завдань та забезпечує належну функціональність пристрою. Нижче перераховано кілька причин, чому процесор є необхідним:

- обробка сигналів;
- керування інтерфейсом;
- управління бездротовим з'єднанням;
- керування живленням.

Задача полягає у виборі готового рішення, на базі якого буде створено власний проект. Два популярні мікроконтролери, які можуть задовольнити наші потреби – це STM32F103 та Arduino Uno R3.

Мікроконтролер STM32F103 є одним з популярних мікроконтролерів в лінійці STM32, вироблених компанією STMicroelectronics (рис. 3.1). Цей мікроконтролер базується на ядрі ARM Cortex-M3 і пропонує широкі можливості для вбудованих систем. STM32F103 підтримує мову програмування C/C++, яка є стандартною мовою для розробки вбудованих систем.

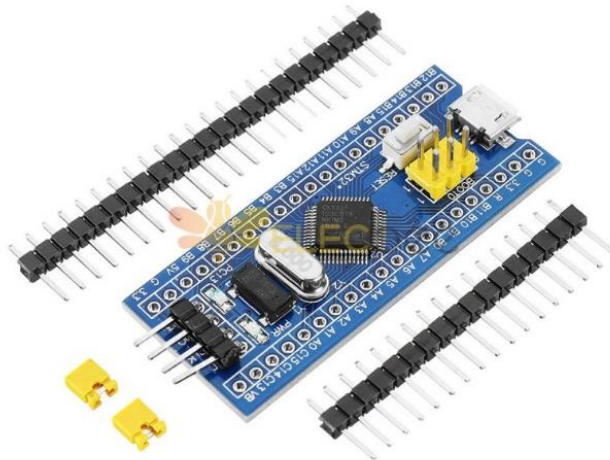


Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд мікроконтролера STM32F103T6

Даний мікроконтролер має вбудований ARM Cortex-M3 процесор з тактовою частотою до 72 МГц, що забезпечує швидку обробку сигналів. Він також має до 512 Кб вбудованої Flash-пам'яті та до 64 Кб оперативної пам'яті для зберігання програмного коду та даних. Завдяки різноманітним периферійним пристроям, таким як UART, SPI, I2C, ADC, PWM, мікроконтролер здатен зчитувати дані з датчиків температури, керувати виведенням на дисплей та взаємодіяти з іншими пристроями через Bluetooth. Режими споживання енергії дозволяють ефективно управляти енергоспоживанням, що важливо для тривалого життя батареї в пристрої та його енергоефективності. Наявність роз'ємів та GPIO-пінів сприяє розширенню функціональності пірметра за допомогою підключення різних модулів та сенсорів.

Мікроконтролер Arduino UNO R3 – це 8-ми бітний мікроконтролер Arduino UNO R3 працює на процесорі ATmega328 (рис. 3.3). Програмування мікроконтролера відбувається на мові C++, але Arduino використовує деякі спеціальні бібліотеки середовища Arduino IDE.

Типова плата, на якій розташований процесор ATmega328 має наступний вигляд: піни 0-13 – цифровий інтерфейс спряження, де піни 0RX 1TX утворюють послідовний інтерфейс I2C. Аналоговий інтерфейс: піни A0-A5, а також послідовний порт USB для програмування із середовища Arduino IDE.



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд мікроконтролера Arduino UNO R3

(рис.3.6). Даний маніпулятор має 3 ступеня свободи, що дозволяє точно переміщувати давач з можливістю сканування великої площі.

Даний маніпулятор має інтерфейс PS2: сумісний з приймачем Sony PS2, може бути підключений безпосередньо до пристрою.

Основою для руху цього маніпулятора є 4 крокові двигуни. У цьому комплекті є 3 способи управління металевим маніпулятором:

- За допомогою саморобного дротового джойстик-контролера (входить в комплект)
- Управління через Bluetooth. (Модуль Bluetooth HM-10 в комплекті, підтримка системи Bluetooth 4.0, Android і IOS). Також надано відповідний тестовий код і спеціально розроблений додаток для маніпулятора.
- Управління за допомогою бездротового модуля джойстика PS2 (не входить в комплект). Надано тільки відповідний тестовий код.

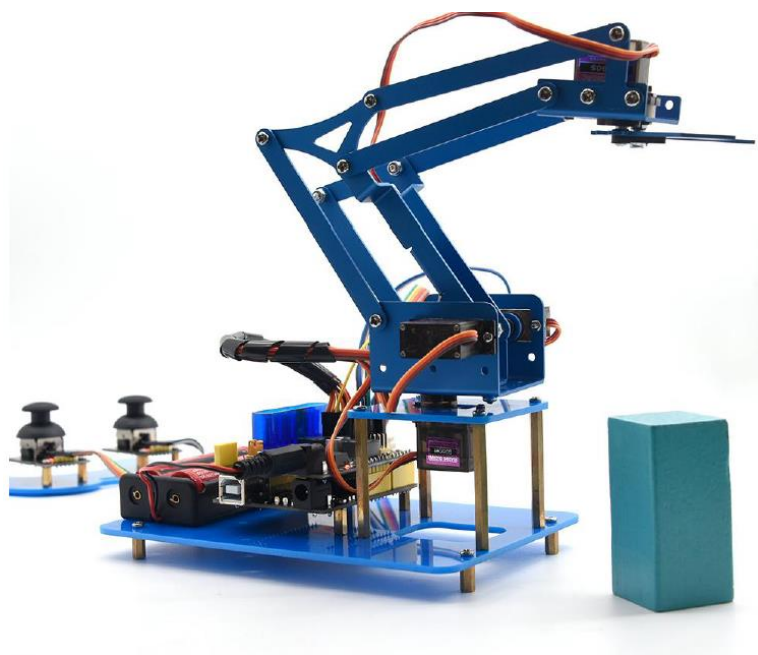


Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд робота-маніпулятора

Для поворотної частини приладу було обрано двохосьовий кронштейн [15] для 2-х крокових моторів SG90 (рис. 3.7). У таблиці 3.4 наведено основні характеристики крокового двигуна [16], який є основою рухомої конструкції.

схеми (рис. 3.7) було застосовано програмне забезпечення з відкритим кодом Fritzing. Варто зауважити, що живлення компонентів відбувається через під'єднане до мікроконтролера джерело живлення з напругою 9В.

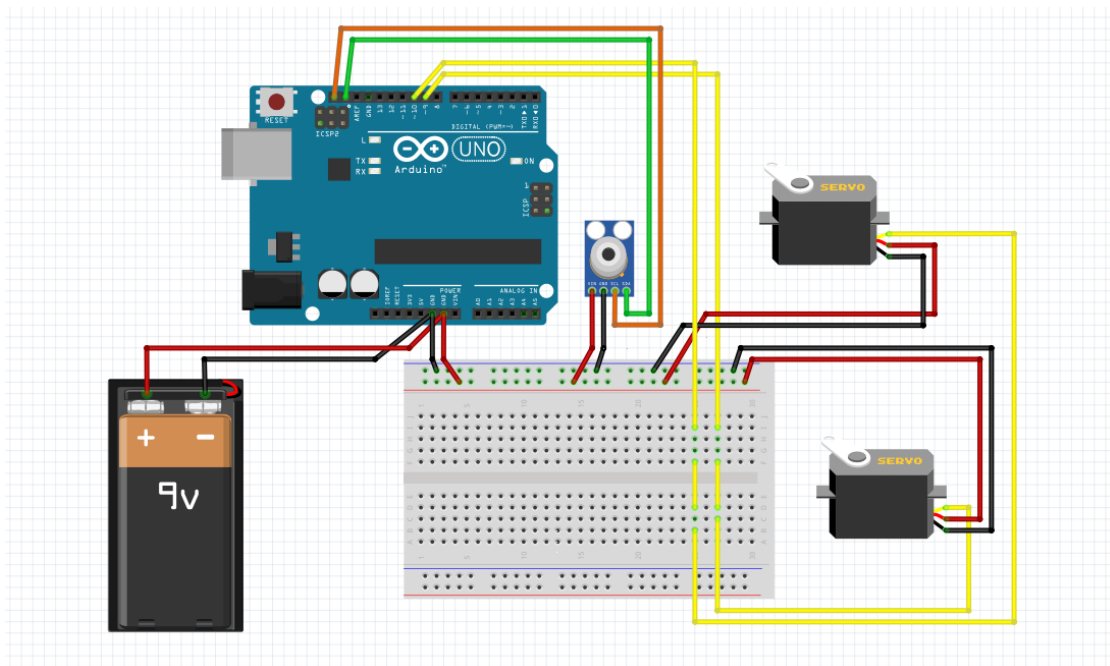


Рисунок 3.8 – Схема під'єднання компонентів до мікроконтролера. Створено у середовищі Fritzing

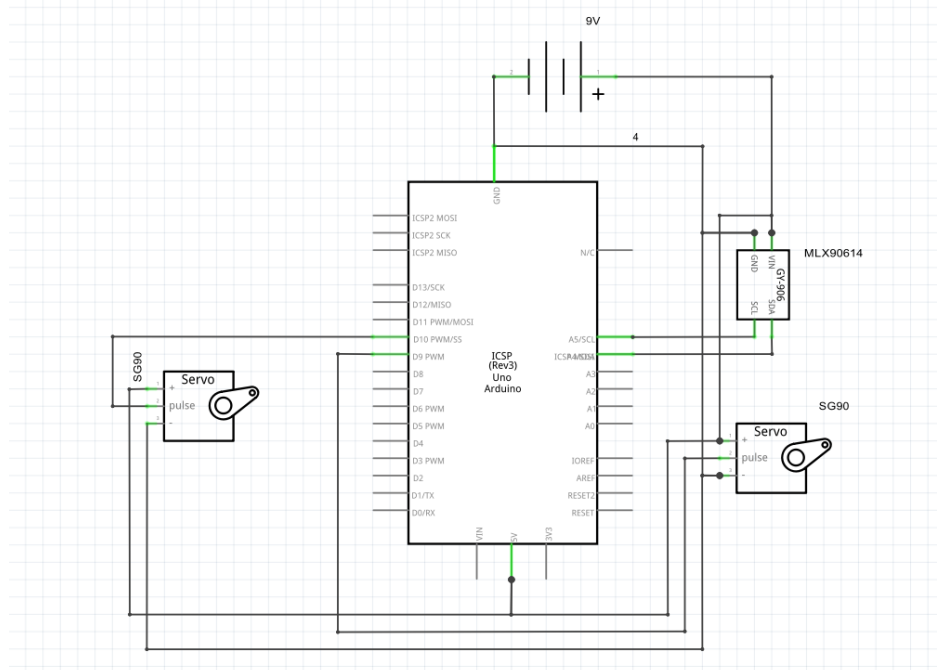


Рисунок 3.8 – Принципова схема моделі виробу. Створено у середовищі Fritzing

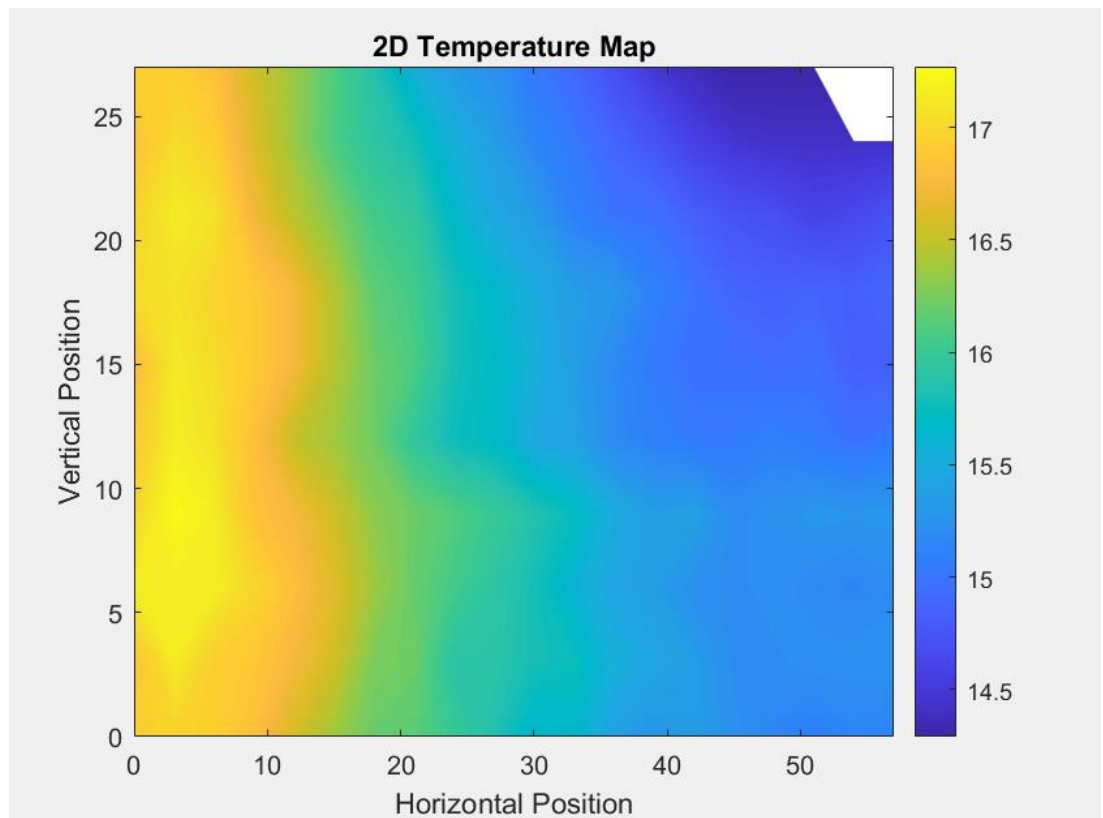


Рисунок 3.9 – Температурна карта отримана шляхом вимірювання за допомогою MLX60914.

Загальна тривалість виконання 200 вимірювань температури, визначена сценарієм, становить приблизно 110 секунд. Цей час включає в себе затримки на переміщення крокових двигунів і зчитування температури, що забезпечує точний і надійний збір даних.

Висновки до розділу 3

У даному розділі відбувалося моделювання приладу для сканування температурного поля об'єкта. Для цього спершу було визначено основні функціональні блоки, встановлено зв'язки між ними та виконано підбір елементів, оптимальних для виконання поставлених задач. Проаналізовано основні технічні характеристики елементів та пояснені роз'єми для під'єднання до мікроконтролера. Відповідно до цього було виконано

підключення компонентів між собою у програмному середовищі Fritzing та створено електричну схему. Аналогічні підключення були зроблені на фізичній макетній платі з використанням охарактеризованих елементів.

Наступним етапом був розрахунок роздільної здатності давача MLX90614. Таким чином визначено оптимальну відстань від об'єкта, розмір якого відомий, зі збереженням точності вимірювань. створювався програмний продукт для контролю постави.

Програмуванням мікропроцесора Arduino Uno R3 для зчитування даних з ІЧ давача та переміщення 2-х крокових двигунів за заданими напрямками використано середовище Arduino IDE. Запис зчитаних даних у файл відбувся з використанням мови програмування Python. Останнім кроком було виведення результатів 200 вимірювань за допомогою обробки даних в середовищі MATLAB. Результат обробки – кольорове зображення розподілу температур.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Метою даного розділу є виявлення та оцінка потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що створюються конструкцією об'єкту, який проектується, та формування заходів для їх усунення.

4.1. Характеристика приладу для безконтактного сканування температури

4.1.1. Характеристики компонентів приладу

Прилад спроектований на основі мікроконтролера Arduino Uno R3 та інфрачервоного датчика температури MLX90614. Допоміжними компонентами приладу є два крокові двигуни Tower Pro 9g SG90, які забезпечують рух по двох осях, створюючи можливість сканування температури об'єкта в межах визначеної площі. У таблиці 4.1 наведено основні технічні характеристики компонентів приладу.

Таблиця 4.1 – Характеристики компонентів приладу, що проектується

№	Найменування компонента	Основні характеристики	Кількість	Позиція на рисунку
1	Мікроконтролер Arduino Uno R3	ATmega328p, клас виробу за способом захисту – і, клас виробу за ступенем захисту – IP 30, споживана потужність: до 2,4 Вт, напруга живлення: 7...12 В, загальний струм живлення контактів мікроконтролера: менше 200 мА	1	1
2	Інфрачервоний датчик MLX90614	діапазон вимірюваних температур: від -70°C до 382,2°C, напруга живлення: 3,6...5 В, споживана потужність: до 0,0075 Вт, кут огляду: 90°	1	2

На рисунку 4.1 суцільними стрілками позначені електричні функціональні зв'язки, а вихідні дані штриховою стрілкою. Позначення 1 відповідає мікроконтролеру Arduino Uno R3 ATmega328P, 2 – модулю GY906 давача MLX90614, 4 – модулю кронштейна з двома кроковими двигунами (3), 5 – блока живлення, 6 – серійному порту, 7 – пристрою зчитування.

4.1.3. Характер взаємодії об'єкту в системі «людина – об'єкт»

Для отримання інформації про стан роботи приладу застосовуються засоби, наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Взаємодія об'єктів в системі «людина-об'єкт»

№	Найменування компонента	Вид відображення інформації	Кількість
1	Мікроконтролер Arduino Uno R3	індикатор підключення живлення – світлодіод	1
2	ІЧ датчик MLX90614	індикатор роботи – світлодіод	1
3	Модуль поворотного механізму	індикатор позиції – крокові мотори	2
4	Алкалійна батарейка HausMark Basic Power 6LR61	індикатор заряду – вбудований індикатор	1
	Монітор	індикатор – сповіщення з USB-порта	1

4.2. Оцінка потенційних небезпек

4.2.1. Електрична безпека

Оцінка та аналіз джерел, причин і наслідків небезпек електричного характеру наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Оцінка небезпек електричного характеру

№	Найменування компонентів приладу	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1	Мікроконтролер arduino uno r3	постійний струм	неправильне з'єднання з основним та допоміжними модулями	пошкодження мікроконтролера, опіки, ураження струмом
2	ІЧ давач MLX90614	постійний струм	неправильне підключення або коротке замикання	пошкодження датчика, опіки, ураження струмом
3	Акумулятор	підвищена напруга	порушення в роботі блока живлення, неправильна полярність	пошкодження мікроконтролера та модулів, опіки, ураження струмом
		пошкодження оболонки	механічна деформація, потрапляння води	ураження струмом

Значення реальні та нормативних небезпечних факторів електричного характеру наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Реальні та нормативні фактори електричної небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальні значення	Нормативні значення
1	Постійний струм	500 мА	10 мА
2	Підвищена напруга	перенапруга	9 В
3	Пошкодження оболонки акумулятора	присутнє	відсутнє

Нормативне значення постійного струму, вказане в таблиці, не перевищує больовий поріг для людини згідно ДСТУ EN 61140:2015 «Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання», при цьому нормативне значення підвищеної напруги для мікроконтролера Arduino UNO R3 взято згідно з його технічної документації. Невідповідність реальних значень нормативним вимагає створення технічних, організаційних, режимних та експлуатаційних заходів із охорони праці – таблиця 4.5.

Таблиця 4.5 – Заходи із забезпечення охорони праці щодо електробезпеки

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1	Технічні засоби	маркування дротів червоним для VDD та чорним для GND, що з'єднують мікроконтролер з основним та допоміжними модулями	забезпечення від помилкового з'єднання складових частин приладу
		ізоляція проводів за допомогою ПВХ	запобігання контакту зі струмопровідними частинами приладу
		підбір ІЧ давача та крокових двигунів за напругою	забезпечення від перенагрівання елементів та їх виходу з ладу
		застосування лінійних стабілізаторів	захист від перенапруги, що подається з блоку живлення
		щільний корпус приладу і герметизація	недопущення механічних ушкоджень та потрапляння води
2	Організаційні засоби	інструктаж з експлуатації	навчання з питань електробезпеки при експлуатації приладу
3	Режимні засоби	Не передбачені	
4	Експлуатаційні засоби	перевірка несправностей спеціалістом	відсутність контакту користувача з елементами під напругою
		перевірка акумулятора на цілісність	забезпечення безпечного використання приладу

Описані в таблиці 4.5 заходи суттєво підвищують електричну безпечність приладу при його використанні для користувача, та забезпечують захист компонентів приладу від виходу з ладу окремих його складових.

4.2.2. Пожежна небезпека

Існує суттєва небезпека виникнення пожежі через тривале перегрівання деталей приладу внаслідок помилок проектування або перегрівання

струмопровідних частин при короткому замиканні в блоці живлення. Детальний аналіз ризиків пожежі представлений у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 - Основні небезпеки, пов'язані з виникненням пожежі

№	Найменування компонентів приладу	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1	Мікроконтролер Arduino Uno R3	Електричні іскри	підвищена температура складових частин мікросхеми	загоряння приладу та виникнення пожежі
			перевантаження струмом	пошкодження мікроконтролера
			неправильне підключення компонентів	коротке замикання та пошкодження мікроконтролера
2	Алкалінова батарея	Струм	коротке замикання	загоряння приладу та виникнення пожежі
			попадання електроліту на компоненти приладу	пошкодження компонентів приладу
			неправильне поводження з батареєю	механічні пошкодження батареї та витік електроліту

У таблиці 4.7 наведені реальні та нормативні значення факторів, що можуть викликати пожежну небезпеку і призвести до загоряння.

Таблиця 4.7 – Реальні та нормативні фактори пожежної небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальні значення	Нормативні значення
1	Електричні іскри	наявні	відсутні
2	Струм короткого замикання	наявні	відсутні
3	Витікання електроліту з акумуляторної батареї	наявні	відсутні

Невідповідність реальних значень нормативним вимагає створення технічних, організаційних, експлуатаційних заходів із охорони праці (табл. 4.8).

Таблиця 4.8 – Заходи із забезпечення охорони праці щодо пожежної безпеки

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1	Технічні засоби	застосування акумулятора з контролером захисту	захист від короткого замикання, внаслідок підключення неправильною полярністю

Продовження таблиці 4.8

			контроль робочої температури, що унеможлиблює перегрів та пошкодження ізоляції
		вибір перерізу дротів з'єднання відповідно до потужності, що передається, по допустимому падінню напруги і щільності струму	збільшення коефіцієнту передачі потужності та уникнення перегрівання з'єднань між компонентами приладу
		виготовлення корпусу приладу з міцного, герметичного, важкозаймистого матеріалу	запобігання короткого замикання та займання унаслідок потрапляння води та витікання електроліту з акумуляторних батарей
		наявність запобіжника, що зупиняє подачу напруги живлення на мікроконтролер та інші складові частини приладу	запобігання перегріву, інформування про необхідність звернутися за технічним обслуговуванням
2	Організаційні засоби	інструктаж з експлуатації	навчання з питань пожежної безпеки при експлуатації приладу
3	Експлуатаційні засоби	належний технічний огляд перед наступним використанням приладу, у разі спрацьовування запобіжника	своєчасне виявлення дефектів, які можуть призвести до загорання приладу та ураження електричним струмом

Дані заходи з охорони праці забезпечують умови безпечного використання приладу та зводять до мінімуму ймовірність загорання складових приладу, що відноситься до класу Е.

4.3. Інструкції по техніці безпеки при експлуатації приладу для безконтактного 2Д сканування температури

Згідно з ДСТУ EN 60601 було розроблено інструкції, що попередять виникнення небезпечних ситуацій під час експлуатації приладу для вимірювання температури методом інфрачервоної термографії.

Загальні положення, що стосуються прав і обов'язків обслуговуючого персоналу щодо дотримання вимог техніки безпеки:

- калібрування та налаштування приладу можуть виконувати тільки представники компанії-розробника або кваліфіковані технічні спеціалісти;
- перед тестуванням приладу користувачі повинні пройти інструктаж з експлуатації та навчання з питань електробезпеки та пожежної безпеки.

Технологічні вимоги щодо безпеки:

- перед початком роботи перевірте зовнішній вигляд приладу та блок живлення на наявність механічних пошкоджень;
- якщо індикатор підключення живлення (світлодіод) не світиться, перевірте заряд акумуляторної батареї.
- під час роботи розташуйте прилад та налаштування режиму роботи згідно з інструкцією з експлуатації;
- у разі виявлення несправності, таких як відсутність відповіді на запуск з комп'ютера або неспрацьовування сигналізації, негайно припиніть роботу та зверніться до технічної підтримки;
- після закінчення роботи вимкніть прилад та розмістіть його у безпечному місці;
- у разі появи диму або запаху горіння, негайно вимкніть прилад та від'єднайте його від джерела живлення. Зверніться до відповідних служб для усунення проблеми.

Особливості обслуговування приладу:

					БМ02.04.2905.1706.ПЗ	56
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- прилад повинен транспортуватися в упаковці, яка забезпечує максимальний захист від ударів та пошкоджень;
- регулярне технічне обслуговування необхідне для забезпечення належної роботи приладу. У разі порушення функціонування приладу негайно зверніться до спеціаліста;
- під час обслуговування та подальшої експлуатації приладу слід дотримуватися всіх правил безпеки, зазначених у цій інструкції.

Висновки до розділу 4

У даному розділі було розглянуто потенційно небезпечні фактори, спричинені розробленою конструкцією для безконтактного сканування температури, та шляхи їх усунення. Найбільшими ризиками є електробезпека та пожежна безпека. Для їх мінімізації розроблено технічні, організаційні, режимні та експлуатаційні заходи, які значно підвищують електричну та пожежну безпеку приладу. Крім того, на основі оцінки потенційних загроз було створено інструкцію з техніки безпеки для експлуатації цього приладу.

					БМ02.04.2905.1706.ПЗ	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		57

ВИСНОВКИ

Для реалізації моделі приладу було обрано компоненти відповідно до складеної функціональної схеми. В результаті обрано модуль інфрачервоного давача MLX90614 і двохосьовий кронштейн, які працюють через мікроконтролер Arduino Uno R3.

Обрано середовища для ініціалізації компонентів, зчитування, запису та обробки даних обрано відповідні середовища: Arduino, Visual Studio, MATLAB . Зчитані дані були записані у вигляді температурної матриці, яку вдалося обробити до зображення, подібного на термограму. При створенні моделі було враховано характеристики та особливості наявних приладів для безконтактного вимірювання температури.

Дана модель приладу має місце в статичній термографічній діагностиці, яка набуває широкого застосування через свою безконтактну природу та відсутність шкідливого випромінювання.

					БМ02.04.2905.1706.ПЗ	58
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ring E. F. J. The historical development of temperature measurement in medicine / E. F. J. Ring // *Infrared Physics & Technology*. – 2007. – Т. 49, № 3. – С. 297–301. – <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2006.06.029>.
2. Medical applications of infrared thermography: A review / B. B. Lahiri та ін. // *Infrared Physics & Technology*. – 2012. – Т. 55, № 4. – С. 221–235. – <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2012.03.007>.
3. Ring E. F. J., Ammer K. Infrared thermal imaging in medicine / E. F. J. Ring, K. Ammer // *Physiological Measurement*. – 2012. – Т. 33, № 3. – С. R33–R46. – <https://doi.org/10.1088/0967-3334/33/3/r33>.
4. Jones B. F. A reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine / B. F. Jones // *IEEE Transactions on Medical Imaging*. – 1998. – Т. 17, № 6. – С. 1019–1027. – <https://doi.org/10.1109/42.746635>.
5. Use of Infrared Thermography in Medical Diagnosis, Screening, and Disease Monitoring: A Scoping Review / D. Kesztyüs та ін. // *Medicina*. – 2023. – Т. 59, № 12. – С. 2139. – <https://doi.org/10.3390/medicina59122139>.
6. Agema Infrared Systems Ltd. Thermal imaging system // *NDT & E International*. – 1991. – Т. 24, № 4. – С. 223. – [https://doi.org/10.1016/0963-8695\(91\)90356-8](https://doi.org/10.1016/0963-8695(91)90356-8).
7. Thermal Imaging vs Pyrometers | LIMAB UK. Limab. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.limab.co.uk/thermal-imaging-vs-pyrometers/> (дата звернення: 10.03.2024).
8. Merla A, Romani GL. Functional infrared imaging in medicine: a quantitative diagnostic approach. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2006;2006:224-7. doi: 10.1109/IEMBS.2006.260267. PMID: 17946387.
9. B.F. Jones, A reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine, *IEEE Transactions on Medical Imaging* 17 (1998) 1019–1027.

					БМ02.04.2905.1706.ПЗ	59
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- 10.X. Maldague, Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing, first ed., John Wiley and Sons, New York, 2001.
- 11.M.F. Modest, Radiative Heat Transfer, second ed., Academic Press, California, 2003.
- 12.Angrisani L, De Benedetto E, Duraccio L, Lo Regio F, Ruggiero R, Tedesco A. Infrared Thermography for Real-Time Assessment of the Effectiveness of Scoliosis Braces. Sensors (Basel). 2023 Sep 22;23(19):8037. doi: 10.3390/s23198037. PMID: 37836867; PMCID: PMC10574976.
- 13.Y. V. Gulyaev, A. G. Markov, L. G. Koreneva and P. V. Zakharov, "Dynamical infrared thermography in humans," in IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, vol. 14, no. 6, pp. 766-771, Nov.-Dec. 1995, doi: 10.1109/51.473272.
- 14.Ng E. Y. K. A review of thermography as promising non-invasive detection modality for breast tumor [Електронний ресурс] / E. Y. K. Ng // International Journal of Thermal Sciences. – 2009. – Т. 48, № 5. – С. 849–859. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2008.06.015>.
- 15.Infrared imaging of the breast-an overview [Електронний ресурс] // Medical devices and systems. – [Б. м.], 2006. – С. 545–566. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1201/9781420003864-32>.
- 16.Chicharro-Luna, E.; Portabales Botana, I.; Ramírez Monreal, L.; Torrent Ivorra, E. Monitorización de la temperatura del pie como herramienta en la neuropatía diabética. Rev. Int. Cienc. Podol. 2015, 10, 9–16
- 17.van Doremalen RFM, van Netten JJ, van Baal JG, Vollenbroek-Hutten MMR, van der Heijden F. Infrared 3D Thermography for Inflammation Detection in Diabetic Foot Disease: A Proof of Concept. J Diabetes Sci Technol. 2020 Jan;14(1):46-54. doi: 10.1177/1932296819854062. Epub 2019 Jun 14. PMID: 31200612; PMCID: PMC7189170.

ДОДАТОК А

Розрахунок показника візування для оборотного ПЧ давача

На рисунку А.1 X – це максимальна відстань, на якій слід розмістити об'єкт, щоб отримати температуру, близьку до температури об'єкта, ω – поле зору сенсору, D – розмір об'єкту.

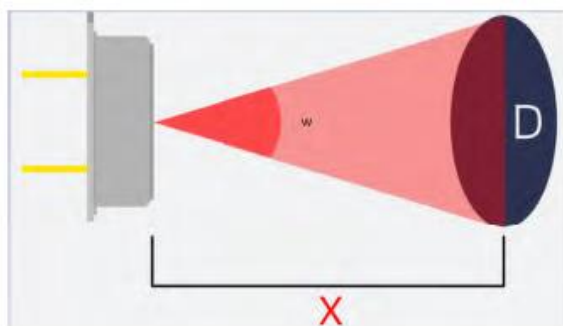


Рисунок А.1 – Розрахунок показника візування

Розірвавши трикутник навпіл, отримуємо прямокутний трикутник (рис. Б.2).

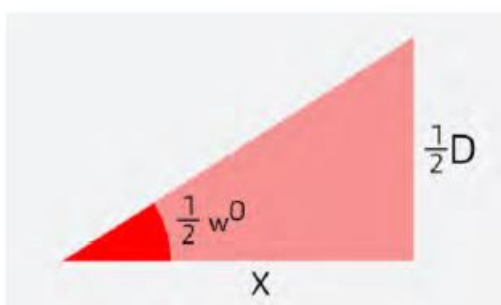


Рисунок А.2 – Розрахунок максимальної відстані X

Використаємо формулу тангенса кута, щоб отримати відстань « X ».

$$\tan\left(\frac{1}{2}\omega^0\right) = \frac{\frac{1}{2}D}{X} \quad (\text{A.1})$$

З формули Б.1 отримуємо:

$$X = \frac{\frac{1}{2}D}{\tan\left(\frac{1}{2}\omega^0\right)} \quad (\text{A.2})$$

Спростивши формулу Б.2 отримуємо:

$$X = \frac{D}{\tan(\omega^0)} \quad (\text{A.3})$$

ДОДАТОК Б

CSV файл з отриманою температурною матрицею

	A	B	C	D
1	Ambient Temperature (°C)	Object Temperature (°C)	Horizontal Position	Vertical Position
2	21.29	16.95	0	0
3	21.31	16.99	3	0
4	21.29	16.95	6	0
5	21.29	16.83	9	0
6	21.27	16.59	12	0
7	21.29	16.39	15	0
8	21.27	16.21	18	0
9	21.29	16.17	21	0
10	21.29	16.01	24	0
11	21.29	15.85	27	0
12	21.27	15.65	30	0
13	21.27	15.67	33	0
14	21.31	15.41	36	0
15	21.29	15.29	39	0
16	21.31	15.37	42	0
17	21.31	15.25	45	0
18	21.31	15.15	48	0
19	21.33	15.09	51	0
20	21.31	15.15	54	0
21	21.29	15.15	57	0

Рисунок Б.1 – Температурна матриця, отримана в результаті зчитування даних з давача MLX60914: Ambient Temperature – температура навколишнього середовища, тобто температура самого давача; Object Temperature – виміряна температура; Horizontal Position – положення крокового двигуна, який відповідає за горизонтальне переміщення Vertical Position – положення крокового двигуна, який відповідає за вертикальне переміщення.