

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

*бакалавр*

(назва освітнього ступеня)

на тему: Комп'ютеризована система моніторингу теплових полів  
технічних об'єктів

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи СІс-44  
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

Харитон Б. В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Лупенко С.А.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Харитону Богдану Володимировичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютеризована система моніторингу теплових полів  
технічних об'єктів

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 10 » 02 2021 року № 4/7-97

2. Термін подання студентом завершеної роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Харитон Б. В.**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Лупенко С.А.**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Комп'ютеризована система моніторингу теплових полів технічних об'єктів // Кваліфікаційна робота бакалавра // Харитон Богдан Володимирович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних систем та мереж, група СІс-44 // Тернопіль, 2021 // с. —, рис. —, табл. —, кресл. —, додат. — 3, бібліогр. — 16.

Ключові слова: Arduino, UART, SPI, I<sup>2</sup>C, теплові поля, алгоритм.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з чотирьох розділів.

У першому розділі виконано аналіз технічного завдання, та укладено вимоги до комп'ютеризованої системи та аналіз можливих рішень.

В другому розділі описується процес проектування та реалізації проекту, як комп'ютеризованої системи моніторингу теплових полів технічних об'єктів. Приводиться розробка апаратного забезпечення для функціонування системи. Розглядаються бібліотеки та реалізація функцій побудованих на основі них, їх алгоритми.

В третьому розділі проводиться програмна реалізація та тестування комп'ютеризованої системи моніторингу теплових полів технічних об'єктів в реальних умовах експлуатації.

Четвертий розділ описує безпеку життєдіяльності, основи охорони праці.

## ABSTRACT

Computer-aided system for technical objects thermal fields monitoring // Bachelor's work // Khariton Bogdan Vladimirovich // Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, Faculty of Computer Information Systems and Software Engineering, Department of Computer Systems and Networks, CIc-44 Group // Ternopil, 2021 // with. -, Fig. -, table. -, chair. -, added. - 2, bibliogr. - 16.

Key words: Arduino, UART, SPI, I2C, thermal fields, algorithm.

The bachelor's thesis consists of four sections.

The first section analyzes the terms of reference, and sets out the requirements for a computerized system and an analysis of possible solutions.

The second section describes the process of designing and implementing the project as a computerized system for monitoring the thermal fields of technical facilities. The development of hardware for the operation of the system is given. Libraries and realization of functions built on their basis, their algorithms are considered.

In the third section, the software implementation and testing of a computerized system for monitoring the thermal fields of technical facilities in real operating conditions.

The fourth section describes the safety of life, the basics of labor protection.

## ЗМІСТ

СПИСОК ОСНОВНИХ УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	10
1.1 Основні вимоги до вимірювання температури об'єктів .....	10
1.2 Основні вимоги до системи вимірювання .....	16
1.3 Аналіз можливих рішень поставленого завдання.....	17
РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА.....	24
2.1 Розробка структури комп'ютеризованої системи.....	24
2.2 Обґрунтування вибору апаратного забезпечення комп'ютеризованої системи .....	26
2.2.1 Вибір ІЧ- термометра MLX90614.....	26
2.2.2 Вибір плати керування мікроконтролера.....	31
2.2.3 Вибір лазерного модуля.....	33
2.2.4 Вибір сервоприводу .....	34
2.3 Опис принципу роботи комп'ютеризованої системи моніторингу теплових полів технічних об'єктів .....	35
2.4 Опис шин, протоколів, які використовуються в проекті. ....	37
2.4.1 Застосування I <sup>2</sup> C шини для обміну даними між давачем температури і мікроконтролером. ....	37
2.4.2 Управління сервоприводами за допомогою ШІМ сигналів.....	39
2.5 Стабільність роботи програмного забезпечення комп'ютеризованої системи .....	40

					<b>КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Харитон Б.В.			<i>Комп'ютеризована система моніторингу теплових полів технічних об'єктів Пояснююча записка</i>	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Лупенко С.А.					6	58
Н. Контр.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-44		
Затверд.		Осухівська Г.М.						

2.6	Опис використовуваних бібліотек.....	42
2.7	Проектування алгоритму роботи системи.....	43
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.....		46
3.1	Підключення і налаштування модулів.....	46
3.2	Підключення сервомоторів.....	48
3.3	Запуск основної програми.....	50
3.4	Результати роботи системи моніторингу теплових полів технічних об'єктів.....	58
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....		61
4.1	Принципи, способи та засоби захисту населення.....	61
4.2	Вплив електромагнітних полів (ЕМП) на людину та заходи щодо зменшення їх впливу на обслуговуючий персонал.....	64
ВИСНОВКИ.....		69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		70
Додаток А. Технічне завдання		
Додаток Б. Перелік елементів		
Додаток В. Код програми тепловізора для Arduino UNO		
Додаток Г. Скрипт для конфігурування датчика температури MLX90614		

СПИСОК ОСНОВНИХ УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І  
СКОРОЧЕНЬ

I2C — Inter-Integrated Circuit

PWM — Pulse-width modulation

SPI — Serial Peripheral Interface

WDT — Watchdog timer

UART — universal asynchronous receiver-transmitter

ІМС — інтегральних мікросхем

ІЧ — інфрачервоний

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## ВСТУП

В сучасному світі існує безліч технологій та пристроїв, що підвищують здатність людини бачити не лише краще, але й далі і чіткіше. Тепловізори – це електронні пристрої, призначені для виявлення і спостереження нагрітих об'єктів за їх власним тепловим випромінюванням. Вони трансформують невидиме для ока людини інфрачервоне випромінювання в електричні сигнали, які після підсилення і автоматичної обробки знову перетворюються на видиме зображення об'єктів.

Технологічні досягнення які відбулися за останню чверть століття в напрямку освоєнні інфрачервоного діапазону електромагнітного спектру, привели до створення різноманітної вимірювальної апаратури, безконтактних термометрів і тепловізорів – пристроїв, призначених для вимірювання температури об'єктів за їх власним інфрачервоним випромінювання. З розвитком техніки і технології, з'явилася можливість використовувати ці пристрої й для візуального спостереження, вимірювання і розподілу температури випромінюючих об'єктів і навіть їх розпізнання за тепловим слідом.

Однак суттєвим недоліком таких пристроїв є їх ціна і особливості експлуатації. Ці недоліки поступово згладжуються і зникають по мірі удосконалення технології і виробництва.

Один із методів зменшення вартості тепловізорів це побудова їх за принципом сканування поверхні, однак це підходить краще для повільних або статичних процесів та явищ.

Здатність тепловізорів дистанційно вимірювати та відобразити температурні поля в реальному масштабі часу і без будь-яких інвазивних впливів на теплове середовище об'єкту спостереження є унікальною, що викликало широке застосування тепловізорів в різних областях наукових досліджень, промислового виробництва і в медичній практиці.

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

### 1.1 Основні вимоги до вимірювання температури людини

Ще зовсім недавно тепловізори сприймалися як спеціалізований, незвичайний і дорогий пристрій. Ці пристрої були доступні тільки військовим і фахівцям, але прогрес не стоїть на місці, і вдосконалення технології виробництва зробило цей клас пристроїв досить поширеним явищем в найрізноманітніших сферах, у тому числі вони отримали і побутове застосування. Наприклад, в останні роки набирає популярність обстеження тепловізором приміщення при покупці житла. Обстеження тепловізором може виявити порушення теплового режиму і порушення технології утеплення житлових приміщень. Втім, використання тепловізорів в побуті не обмежується нерухомістю. Багато автолюбителів замовляють обстеження тепловізором свого транспортного засобу. За допомогою пристрою здійснюється пошук порушення тепло- і гідроізоляції, контроль роботи вузлів автомобіля. Тепловізор можна назвати своєрідним сканером, який випромінює інфрачервоне світло і визначає теплові аномалії будь-якого об'єкту.

Приймач інфрачервоного випромінювання є основною деталлю тепловізора. Хвилі інфрачервоного випромінювання, будь-які теплові (інфрачервоні) зміни в процесі аналітичної роботи допомагають приладу скласти графік температурних перепадів. Так, як працює тепловізор, не здатний працювати жоден інший тип пристрою. Це унікальний шанс поглянути на світ навколо абсолютно по новому, побачити приховане і можливо навіть глибше пізнати суть деяких явищ. І єдиною перешкодою до цієї мрії служить ціна подібних пристроїв.

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Харитон Б.В.			Комп'ютеризована система моніторингу теплових полів технічних об'єктів Пояснююча записка	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Лупенко С.А.					10	58
Н. Контр.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-44		
Затверд.		Осухівська Г.М.						

Незважаючи на весь прогрес, вона залишається дуже високою для простої людини. Однак, переглядаючи інформацію в інтернеті, можна знайти деякі можливі напрямки конструювання тепловізійних систем, і дослідні зразки цих систем на базі мікроконтролера Arduino. У зв'язку з цим, виникла гіпотеза про можливість створення власної розробки тепловізійної установки на базі мікропроцесора Arduino.

Інфрачервоний (ІЧ) термометр - це датчик ІЧ, який визначає температуру об'єкта шляхом виявлення й кількісної оцінки інфрачервоного випромінювання, що випускається цим об'єктом. ІЧ-Термометр можна зрівняти з людським оком. Кришталік ока являє собою оптичну систему, через яку випромінювання (потік фотонів) від об'єкта досягає світлочутливого шару (сітківки) через атмосферу. Це перетвориться в сигнал, який відправляється в мозок. На рисунку 1.1 показано, як працює інфрачервона вимірювальна система.

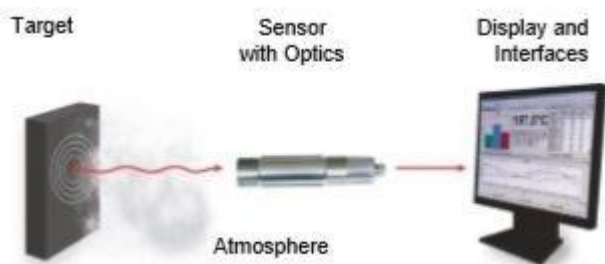


Рисунок 1.1 – Інфрачервона вимірювальна система

Кожна форма матерії з температурою вище абсолютного нуля ( $-273,15^{\circ}\text{C}$  /  $-459,8^{\circ}\text{F}$ ) випромінює інфрачервоне випромінювання залежно від її температури. Це називається характеристичним випромінюванням. Причина цього - внутрішній механічний рух молекул. Інтенсивність цього руху залежить від температури об'єкта. Оскільки рух молекули являє собою рух електронів, випускається електромагнітне випромінювання (фотонні частки). Ці фотони рухаються зі швидкістю світла й поведуться відповідно до відомих оптичних принципів. Вони можуть відхилитися, фокусуватися лінзою або відбиватися поверхнями. Спектр цього випромінювання перебуває в діапазоні довжин хвиль

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

від 0,7 до 1000 мкм. Із цієї причини це випромінювання не можна побачити неозброєним оком, див. рис. 1.2.

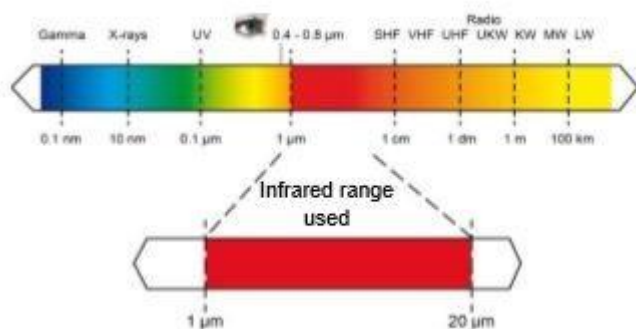


Рисунок 1.2 – Електромагнітний спектр із діапазоном від 1 до 20 μm, придатний для виміру температури.

Однак невидима частина спектру містить до 100 000 раз більше енергії. На цьому заснована інфрачервона вимірювальна техніка. На рис. 3 видно, що максимум випромінювання зміщується у бік більш коротких довжин хвиль при підвищенні цільової температури, і що криві тіла не перекриваються при різних температурах. Енергія випромінювання у всьому діапазоні довжин хвиль (площа під кожною кривою) збільшується до 4 ступеня від температури. Криві показують, що за сигналом випромінювання може бути досить точно виміряна температура об'єкта. На рис. 3 показане типове випромінювання тіла при різних температурах. Як зазначено, тіла при високих температурах як і раніше випромінюють невелику кількість видимого випромінювання. Таким чином, кожен може бачити об'єкти при дуже високих температурах (вище 600 ° C), що світяться десь від червоного до білого. Досвідчені сталевари можуть досить точно визначити температуру об'єкта по кольору. Класичний пірометр зі зникаючою ниткою розжарення використовувався в сталеливарній промисловості із середини 1930-х років.

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

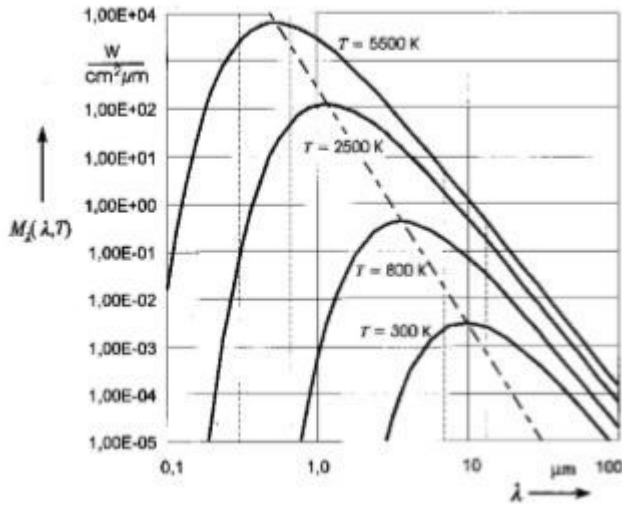


Рисунок 1.3 – Радіаційна характеристика чорного тіла залежно від його температури

Таким чином, якщо подивитися на рис. 1.3, то необхідно настроїти ІЧ-термометр на максимально широкий діапазон, щоб одержати якнайбільше енергії ( відповідної до області під кривою) або сигналу від об'єкта вимірів. Однак у деяких випадках це не завжди приводить до точних вимірів. На рис. 3 інтенсивність випромінювання збільшується на 2 мкм - набагато більше при підвищенні температури на рівні 10 мкм. Чим більше різниця яскравості при різниці температур, тем точніше працює ІЧ-термометр. У відповідності зі зсувом максимуму випромінювання убік менших довжин хвиль із підвищенням температури діапазон довжин хвиль поводитья відповідно до діапазону температур вимірювання пірометра. При низьких температурах ІЧ- термометр, що працює на 2 мкм, зупиниться при температурах нижче 600 ° С, практично нічого не бачачи через занадто малу енергію випромінювання. Ще одна причина застосовувати вимірювальні пристрої для різних діапазонів довжин хвиль - це характер випромінювання деяких матеріалів скла, металів і плівки. На рис. 3 показаний ідеал - так зване «чорне тіло». Однак багато тіл генерують менше випромінювання при тій же температурі. Зв'язок між реальною випромінювальною здатністю й коефіцієнтом чорного тіла відома як коефіцієнт випромінювання ( $\epsilon$ ) і може становити максимум 1 (тіло відповідає ідеальному

чорному тілу) і мінімум 0. Тіла з випромінювальною здатністю менш 1 називаються сірими тілами.

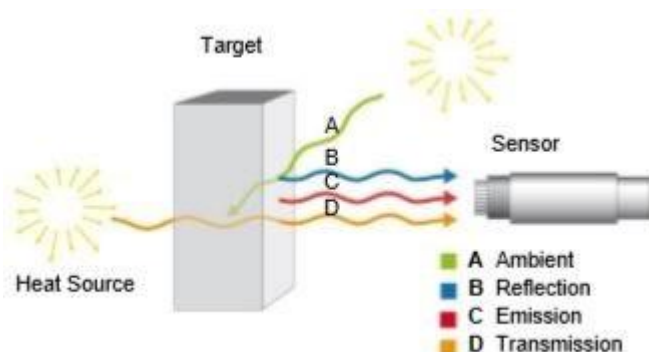


Рисунок 1.4 – Крім випромінювання, датчик вловлює відбите випромінювання

Ідеальне чорне тіло не має відбивної здатності ( $R = 0$ ), так що  $E = 1$ .

Багато неметалічних матеріалів, такі як дерево, пластик, гума, органічні матеріали, камінь або бетон, мають поверхні, які дуже мало відбивають, і тому мають високі коефіцієнти випромінювання від 0,8 до 0,95. Однак метали - особливо ті, які мають поліровані або блискучі поверхні - мають коефіцієнт випромінювання близько 0,1. ІЧ- термометри компенсують це, пропонуючи різні варіанти установки коефіцієнта випромінювання, див. також рис. 1.5.

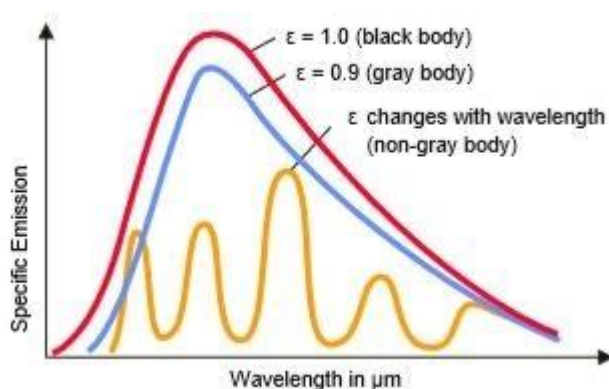


Рисунок 1.5 – Питома емісія при різній емісійній здатності

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На відміну від зображень у видимій і ближній інфрачервоній областях спектру, отриманих за рахунок відбитого випромінювання об'єкта і відмінностей в відбивної здатності його елементів і відображає фон, теплові (інфрачервоні) зображення створюються за рахунок власного теплового випромінювання об'єкта і визначаються відмінностями в температурі і випромінювальної здатності його елементів і навколишнього фону. Зміни температури поверхні випромінювання об'єкта в певній мірі відповідають деталям візуально спостережуваної картини, тому що створюються тепловізором зображення в основному відповідають уявленням про форму і розміри розглянутих об'єктів.

До областей застосування тепловізорів в промисловості і науці при дослідженні температурних полів відносять також наступні:

- вимірювання температурних режимів при виготовленні паперу, листового прокату металу, виробництві скла, гуми і пластика, бетонних та залізобетонних виробів;
- випробування скла з електричним підігрівом для автомобілів і літаків;
- вимір температури обертових деталей машин, а також металевих деталей і інструментів при обробці на верстатах;
- вивчення процесів теплопередачі в моделях, які долають в аеродинамічних трубах;
- дослідження розподілу температури в газовому струмені авіаційних двигунів;
- визначення температури поверхні в шлюзових камерах, що моделюють космічні умови польоту;
- контроль якості захисту атомних реакторів електростанцій; визначення положень підземних і прихованих комунікацій;
- контроль рівня і положення теплих або холодних рідин в резервуарі;
- безперервний контроль обмурівки обертових випалювальних печей в процесі їх роботи;

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- визначення втрат в зубчастих зачеплення;
- дефектоскопія матеріалів та окремих конструкцій при проведенні статичних і динамічних випробувань;
- визначення областей переходу ламінарного режиму течії в турбулентний при аерофізичних дослідженнях;
- дефектоскопія болтових і клепаних з'єднань;
- неруйнівний контроль неметалічних матеріалів;
- дослідження внутрішньої корозії баків і цистерн;
- контроль якості зварювання тонкостінних конструкцій по термограмі зварного шва, на який подається імпульс струму;
- вивчення теплоізоляції труб штучних ковзанок;
- дослідження теплових ефектів в клінічних і біологічних процесах.

З розвитком тепловізійної техніки область застосування тепловізорів для аналізу теплових полів безперервно розширюється. В усьому світі для цього створені спеціальні типи приладів.

## 1.2 Основні вимоги до системи

Основними вимогами до комп'ютеризованої системи моніторингу теплових полів технічних об'єктів є: діапазон вимірюваної температури об'єкта, точність вимірювання температури, кут вимірювання температури об'єкта, дальність зчитування температури і найголовніша це роздільна здатність тепловізійного зображення. Також система повинна живитись від акумулятора або блока живлення напругою постійного струму +12В.

Такі вимоги як діапазон вимірюваної температури, точність вимірювання температури, кут вимірювання температури, дальність зчитування температури визначаються вибором безконтактного ІЧ термометра і його характеристиками. Однак чим кращі характеристики ІЧ термометра тим він дорожчий і потребує спеціальних заходів по досягненню його високих характеристик з вимірювання

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



параметрів температури. Також ІЧ термометр повинен мати цифровий вихід з зручним інтерфейсом обміну інформації між ним і мікроконтролером, наприклад UART, I2C, або SPI.

Найважливішим параметром будьякого тепловізора є роздільна здатність тепловізійного зображення, яке і визначає якість і характеристики системи та найбільше впливає на його ціну. Роздільну здатність визначає вибір ІЧ термометра і системи керування напрямком його поля зору. Найпростішою системою керування напрямком поля зору ІЧ термометра є система побудована на серво приводах, яка може мати точність встановлення кута менше 1 градуса. Вони є прості в керуванні однак дешеві моделі можуть мати тремор рухомого механізму внаслідок його недосконалості.

Для керування роботою всієї системи необхідно вибрати такий мікроконтролер який є поширеним і зручним для моделювання і макетування, має достатньо цифрових і аналогових портів, цифрових інтерфейсів і підключається до ПК.

### 1.3 Аналіз можливих рішень поставленого завдання

Все тепловізори прийнято ділити на два класи: охолоджувані і неоохолоджувані. Перші, як правило, мають стаціонарне виконання, і використовують для охолодження рідкий азот. Такі тепловізори застосовуються в промисловості.

Другі мають компактну переносну конструкцію, і не потребують низьких температурах. В якості датчиків в переносних тепловізорах застосовуються матриці мікроболометрів. Такий прилад з матрицею 100x80 точок, в Китаї коштує від 19-23 тис. грн. Така вартість приладу зумовлена тим, що основою такого тепловізора служить якраз та сама матриця мікроболометрів, поєднана з кремнієвою/германієвою оптикою. Її вартість становить до 90% вартості самого приладу. Зробити дешевий прилад своїми руками не вийде, адже однаково,

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

доведеться купувати цю матрицю. Виготовити ж її самому - завдання дуже непросте, і вимагає наявності спеціалізованої лабораторії.

Застосувавши механізм сканування, навіть за допомогою невеликої роздільної здатності датчика можна вийти велику і детальну картинку.

Побачити місця локального нагріву і отже слабкі місця нашого оточення було завжди захоплюючим процесом в сучасному теплобаченні. Інфрачервоні камери зазнали істотних змін в плані поліпшення співвідношення ціна/продуктивність не в останню чергу завдяки все більш ефективним способам виготовлення інфрачервоних-оптичних датчиків зображення. Техніка стала більш дрібною, а пристрої більш міцними і невибагливими до витрати електроенергії.

Принцип дії інфрачервоної камери. Тепловізори працюють як звичайні цифрові камери: Вони мають поле зору, так званим Field of View (FOV), яке може становити як телеоб'єктив  $6^\circ$ , стандартної оптики  $23^\circ$ , а в якості ширококутного об'єктиву  $48^\circ$ . Чим далі перебуваєш від об'єкта вимірювання, тим більша охоплювана область зображення і отже розмір кадру, який реєструє окремий піксель. Плюсом в цьому є те, що яскравість світіння при чималій площі не залежить від видалення. Завдяки цьому відстань до об'єкта вимірювання в значній мірі не впливає на процеси вимірювання температури.

[4]

Теплове випромінювання в середньому інфрачервоному діапазоні може фокусуватися тільки за рахунок оптики з германію, сплавів германію, цинкових солей або за допомогою дзеркал з поверхневим покриттям. Така поліпшена оптика в порівнянні зі звичайними, що виготовляються великими партіями об'єктивами у видимій спектральній області все ще є значним фактором витрат при виготовленні тепловізорів. Вони виконані у вигляді сферичного 3-лінзового об'єктива або асферичного 2-лінзового об'єктива і повинні для термометричні правильних вимірів калібруватися саме на камерах зі змінними об'єктивами щодо їх впливу на кожен окремий піксель.

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основним елементом будь-якого тепловізора, як правило, є матриця в фокальній області (FPA). Вона являє собою вбудований датчик зображення розміром від 20 000 до 1 мільйона пікселів. Кожен піксель сам є мікроболометром розміром від 17 x 17 до 35 x 35 мкм<sup>2</sup>. Подібні теплові приймачі товщиною 150 нанометрів нагріваються за допомогою теплового випромінювання протягом 10 мс приблизно на одну п'яту різниці між температурою об'єкта і власної температурою. Подібного роду висока чутливість досягається за рахунок дуже низької теплоємності в поєднанні з чудовою ізоляцією інфрачервоної камери щодо вільного оточення. Коефіцієнт поглинання частково прозорою площі приймача збільшується за допомогою взаємодії пропущеної і потім відображеної на поверхні кремнієвого кристала світлової хвилі з подальшою світловою хвилею. [3]

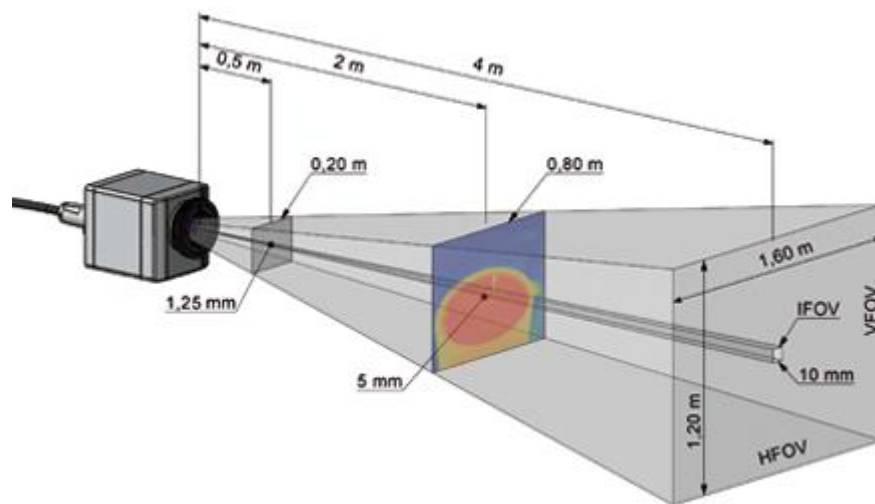


Рисунок 1.6 – Фокусування теплового випромінювання тепловізійною камерою

Для використання даного ефекту самоінтерференції, поверхня болометра, що складається з оксиду ванадію або аморфного кремнію, повинна за допомогою спеціальних технологій травлення розташовуватися на відстані 2 мкм від схеми зчитування. Цим самим вона на порядок перевершує інші теплові датчики. За рахунок власної температури болометра і температури приходить випромінювання, змінюється його опір, яке перетворюється в

електричний сигнал напруги. Аналого-цифрові перетворювачі оцифровують попередньо посиленій відеосигнал. Система цифрової обробки сигналу розраховує для кожного окремого пікселя значення температури і генерує в реальному часі кольорові зображення або теплові діаграми. Для підвищення точності вимірювання матриці в фокальній області болометра калібруються при певних температурах з дуже високою точністю.

Тепловізорам потрібно досить дороге калібрування, при якому кожному пікселю для різних температур мікросхеми або чорного випромінювача потрібно присвоїти ряд величин чутливості. Для підвищення точності вимірювання матриці в фокальній області болометра термостатуються при певних температурах з великою точністю регулювання.



Рисунок 1.7 – Спеціальна тепловізійна камера

Передача і аналіз теплових діаграм. Завдяки розробці все більш продуктивних, компактних і одночасно недорогих ноутбуків, ультра-мобільних ПК, нетбуків і планшетних ПК в даний час є можливість їх використання для:

- великих дисплеїв для подання теплових діаграм, оптимізованих літій-іонних акумуляторів для електроживлення;
- обчислювальної потужності для гнучкого високоякісного уявлення сигналу в реальному часі;
- ємності пам'яті для практично необмеженої за часом відеозапису теплових діаграм, а також інтерфейсів, напр., Ethernet, Bluetooth і програмне забезпечення для інтеграції термографічної системи в середовище користувача.

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Стандартний і доступний інтерфейс USB 2.0 дозволяє при цьому передавати дані на швидкості 30 Гц з роздільною здатністю 320 x 240 пікселів і 120 Гц для форматів зображення 20 000 пікселів.

Введена в 2009 році технологія USB 3.0 підходить навіть для роздільної здатності теплових діаграм стандарту Extended Graphics Array до 100 Гц. За рахунок застосування принципу веб-камер в області термографії з'явилися зовсім нові властивості продукції з істотно поліпшеним співвідношенням ціна/продуктивність. При цьому тепловізор в реальному часі підключається до ПК на базі ОС Windows через інтерфейс зі швидкістю передачі даних 480 Мб, який одночасно забезпечує і електроживлення.

Апаратне забезпечення тепловізорів. Стандарт USB служив раніше лише в якості засобу зв'язку офісної техніки. У порівнянні з шиною FireWire досить широке поширення даного стандарту інтерфейсу ініціювало численні розробки, які значно підвищили ступінь промислової придатності цього інтерфейсу і отже можливість використання кінцевих пристроїв зі стандартом USB 2.0, і перш за все інфрачервоних USB-камер. До них відносяться:

- кабель, здатний до експлуатації в якості енергоцепі і витримує навантаження до 200 ° С і довжиною до 10 м [3];
- кабельні подовжувачі до 100 м CAT5E (Ethernet) з підсилювачами сигналу;
- оптоволоконні USB-модеми для довжини проводів до 10 км.

Завдяки високій ширині пропускання сигналу USB-шини, можна, напр., До ноутбука підключати п'ять 120-гігагерцовий інфрачервоних камер за допомогою стандартного хаба через 100-метровий провід Ethernet.

Вологонепроникні, стійкі до вібрацій і ударів тепловізори серії optris PI відповідають класу захисту IP 67 і тому придатні для надійного застосування на випробувальних стендах. Розмір 45 x 45 x 62 мм<sup>3</sup> і маса 200 г істотно знижують при цьому витрати на установку корпусу охолодження і повітрорудних насадок.

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Унаслідок термічного зсуву болометрів і їх обробки сигналів на мікросхемі всім виконують вимірювання інфрачервоним камерам потрібно з інтервалом в декілька хвилин коригування зміщення. З цією метою затемнена металева деталь за допомогою електроприводу переміщається закриває передню частину датчика. Завдяки цьому кожен елемент зображення налаштовується на однакову, відому температуру. Звичайно, в ході виконання такого калібрування зміщення тепловізори не працюють. Щоб якось знизити негативну дію подібного процесу, активацію коригування зміщення в певний час можна налаштувати за допомогою установки зовнішнього керуючого контакту.

До того ж камери розроблені так, що самокалібрування виконується максимально швидко. Встановлення швидких виконавчих елементів дозволяє виконувати самоналаштування протягом 250 мс. Це можна порівняти з тривалістю змикання повік і тому прийнятно для багатьох процесів вимірювання. На конвеєрах, де необхідно виявляти несподівані місця перегріву, часто можуть використовуватися створені в реальному масштабі часу «хороші» контрольні зображення в рамках динамічного вимірювання різниці зображень. За рахунок цього може бути тривалий режим роботи без задіяння механічного елемента.

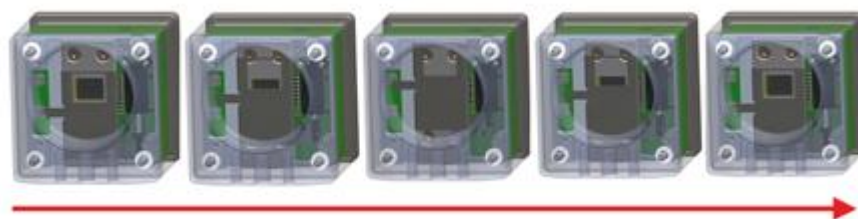


Рисунок 1.8 – Зміщення поля зору інфрачервоного датчика

Власне при використанні камери технології лазерної обробки інфрачервоних сигналів з довжиною хвилі 10,6 мкм добре себе зарекомендувала можливість закривання оптичного каналу за рахунок зовнішнього управління при одночасно незалежній сигналізації

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оптомеханічного захисту режиму роботи камери. Завдяки хорошій блокуванню фільтрів вимірювання температури можуть проводитися «за місцем» для всіх інших обробних лазерів, що працюють в діапазоні від 800 нм до 2,6 мкм.

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

### 2.1 Розробка структури системи

Комп'ютеризована тепловізійна система має відповідати таким критеріям:

- 1) Система повинна вимірювати температуру безконтактно, на відстані кількох метрів;
- 2) Система повинна підключатись до ПК і обмінюватись з ним даними для керування і отримання інформації про температуру;
- 3) Система повинна підтримувати можливість керування кутом і напрямком сканування об'єкта;
- 4) Система повинна інформувати оператора про об'єкт сканування і відображати його теплове поле;
- 5) Система повинна позначати точку або зону сканування теплового поля.

За цими критеріями було розроблено структурну схему тепловізійної системи рис. 2.1.

Структурна схема тепловізійної системи враховує вимоги технічного завдання та передбачає застосування поширених модулів і компонентів. Також обмін даними в системі буде відбуватись за допомогою цифрових протоколів I2C та USB.

Комп'ютеризована тепловізійної системи складається з безконтактного інфрачервоного вимірювача температури — IRS, червоного лазера — Lazer, які разом утворюють скануючи систему. Вона переміщається по осях за допомогою сервоприводів зліва направо — Servo 1, зверху вниз — Servo 2.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ			
Розроб.		Харитон Б.В.			Комп'ютеризована система моніторингу теплових полів технічних об'єктів Пояснююча записка	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Лупенко С.А.					24	58
Н. Контр.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-44		
Затверд.		Осухівська Г.М.						



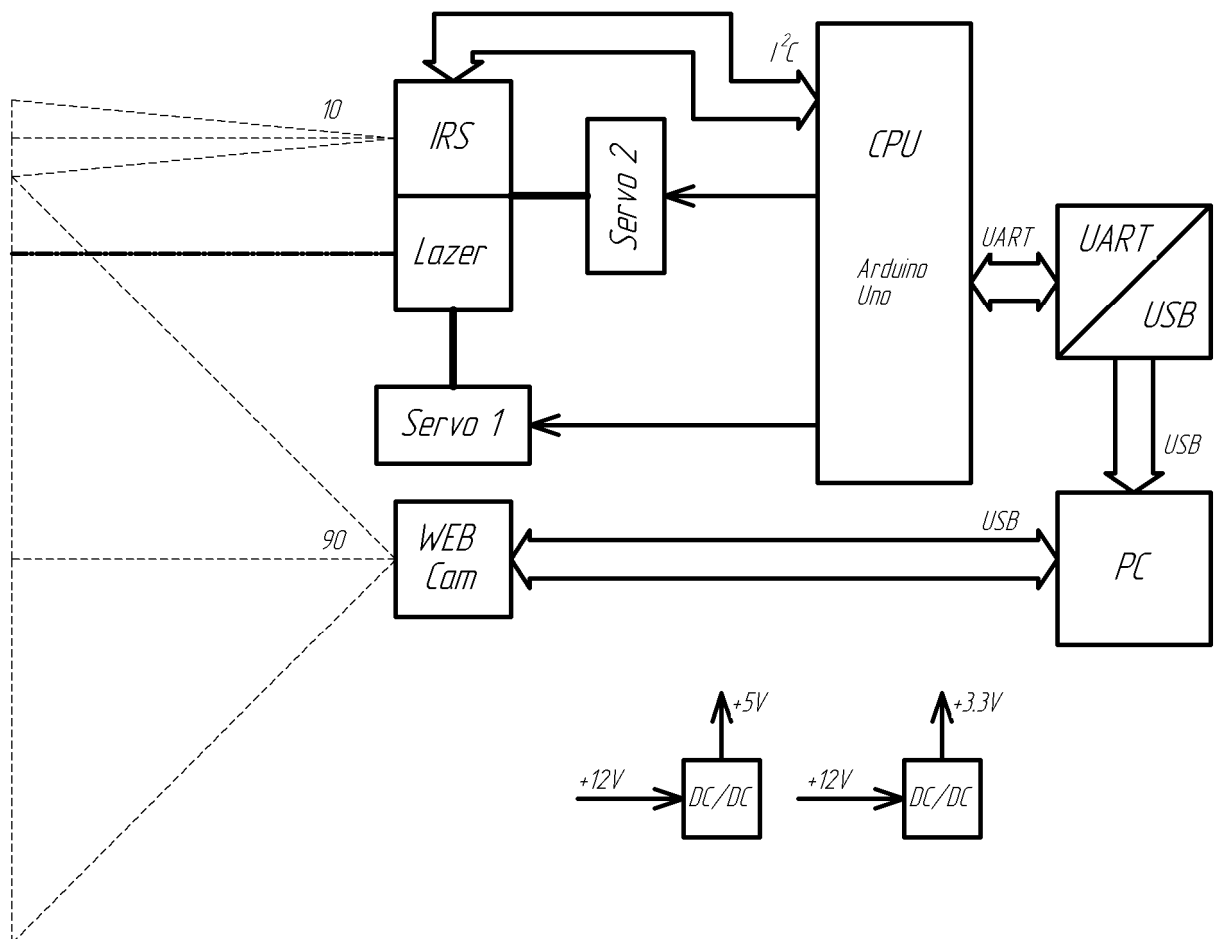


Рисунок 2.1 – Структурна схема тепловізіонної системи

Оптимані дані поступають на мікроконтролер CPU Arduino Uno, який має достатню кількість портів та цифрових інтерфейсів, зокрема I2C для підключення скануючої системи. Також мікроконтролер генерує ШІМ сигнали для керування сервоприводами.

Отримані дані про температуру об'єкта разом з відео зображенням від WEB камери подаються на PC і відображаються на його екрані. Параметри сканування задаються за допомогою PC. Дані на PC передаються за допомогою USB інтерфейсів.

Всі ці модулі забезпечуються стабілізованим живленням +12В, +5В, та +3,3В, які забезпечуються імпульсними стабілізаторами постійного струму DC/DC. Напруга +12В подається від зовнішнього джерела живлення, це може бути акумулятор або блок живлення.

## 2.2 Обґрунтування вибору апаратного забезпечення проектованої комп'ютеризованої системи

### 2.2.1 Вибір ІЧ- термометра MLX90614

Як вже описувалося вище, в професійних тепловізорних системах використовуються спеціальні інфрачервоні матриці, які і є інфрачервоним датчиком. Принципово, будь-яка відеоматриця, може використовуватися з певним успіхом в якості ІЧ-датчика. В цьому випадку, її треба акуратно розібрати і видалити інфрачервоний фільтр. В результаті переробки, матриця буде сприймати інфрачервоне випромінювання і скорегувавши роботу відеопроцесора, можна домогтися зображення схожого на тепловізорну картинку. Дешевший і простіший варіант використання інфрачервоних дистанційних термометросигнали, які обробляються певною комп'ютерною програмою. В якості такого інфрачервоного датчика, використовують мікропроцесорні інфрачервоні термометри, наприклад - MLX90614

MLX90614 E SF DC I  
1            2 3 4 5 6

Рисунок 2.2. – Маркування MLX90614

1. серія;
2. Температурний діапазон: E – -40 ... 85°C; K – -40 ... 125°C;
3. Тип корпусу: SF - TO-39;
4. Напруга живлення: A – 5 В; B – 3 В; D – 3 В з медичною точністю;
5. Кількість зон: A – одна; B – дві; 3 - одна з градієнтною компенсацією;
6. Модифікація корпусу: A – стандартний корпус; I – з насадкою для забезпечення вузького поля зору в 5°;

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк. 26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

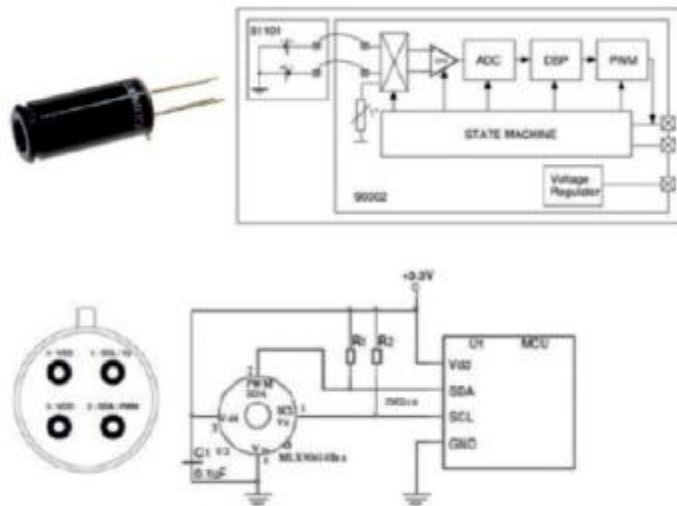


Рисунок 2.3 – MLX90614 - інфрачервоний термометр в корпусі ТО-39 для безконтактного виміру температури

ІЧ датчик вимірює температуру об'єкта і температуру оточуючого навколишнього середовища. Вимірювання температури об'єкта відбувається безконтактним способом, а температура середовища вимірюється за рахунок контакту і нагріву кристалу датчика. Температура нагрітого об'єкта визначається в діапазоні від  $-70^{\circ}\text{C}$  до  $+380^{\circ}\text{C}$  градусів з роздільною здатністю у 17- бітів за допомогою перетворення інфрачервоного випромінювання, що виходить від об'єкта. Така точність вимірювань уможливорює розрізнення температур в  $0,2^{\circ}\text{C}$ . У корпусі датчика об'єднані ІЧ детектор і мікросхема обробки сигналу. Разом із малозумним підсилювачем, така система має високу точність і роздільну здатність. Також в корпусі датчика розташований оптичний фільтр, який відсікає видиме світло, а інфрачервоне пропускає.

Результатом роботи давача є температура всіх об'єктів з робочої зони датчика. Точність таких давачів становить  $0.5^{\circ}\text{C}$ , а точність давачів для медичного застосування ( тобто MLX90614ESF-DCI) сягає від  $0.2^{\circ}\text{C}$ . Однак дана точність може бути досягнута у випадку, якщо датчик перебуває в стані термічного рівноваги. Також на його точність можуть впливати гарячі або холодні тіла, які при вимірюванні знаходяться поруч.

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

ІЧ датчики MLX90614 калібровані на заводі-виробнику з цифровим і SMBus виходом в діапазоні від -40 до 125°C для температури навколишнього середовища і в діапазоні -70 ... 380°C для вимірюваних об'єктів.

Датчики MLX90614 підтримують два інтерфейси, однак досить мати один, щоб отримати доступ до іншого. Первинне підключення до ІЧ датчика відбувається по 2-дротяному SMBus інтерфейсу, дуже простому і близькому до I2C. Якщо він вже налаштований, то пізніше можна конфігурувати датчик на вихід. Два вихідних сигнали – SDA і SCL – передають дані і сигнал синхронізації.

Кожен датчик має I2C адреса за замовчуванням 0x5A, але може бути змінений, це є одним з головних переваг датчика. За допомогою конфігурації адреси можна додавати до 127 датчиків до однієї шині і отримувати широку температурну карту.

PWM вихід конфігурується поперх SMBus, його важко використовувати з мікро контролером, але він дуже зручний для використання датчика для прямого управління реле або іншим пристроєм спрацьовування. PWM сигнал може бути легко налаштований на будь-який необхідний діапазон за допомогою зміни змісту двох EEPROM осередків. Це не вплине на заводське калібрування датчика. PWM вихід також може бути налаштований як термореле в додатках, де датчик використовується як термостат або сигналізатор порогової температури. Пороги спрацьовування налаштовуються користувачем програмним методом.

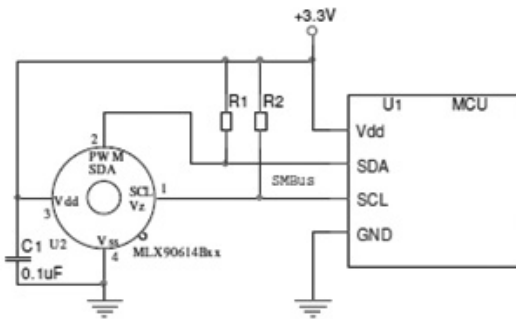
Датчики випускаються в декількох модифікаціях, з індексом DCI або VCI. Обидва датчика мають вхідну напругу 3В, сумісний з батарейним живленням. Індекс I позначає тип модифікації корпусу, який має насадку для забезпечення вузького поля зору в 5 °.

Крім датчика і мікросхеми обробки сигналу в корпусі розташований оптичний фільтр, який відрізає видимий і близький до інфрачервоного випромінювання потік. Такий фільтр забезпечує нечутливість датчика до

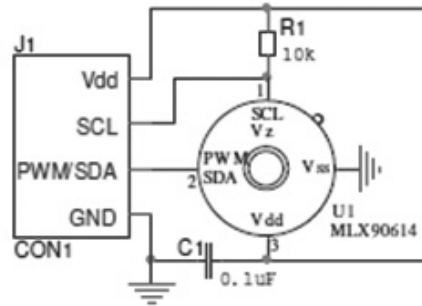
					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сонячного світла і зовнішнього засвічування. Смуга пропускання фільтра становить 5.5 ... 14 мкм.

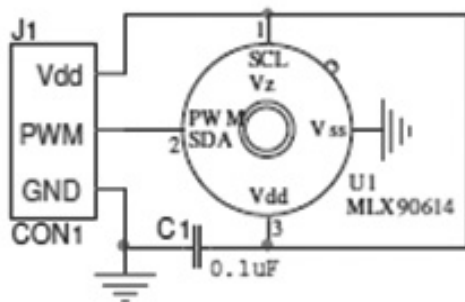
Датчики MLX90614 випускаються в 4-вивідному ТО-39 корпусі, два для живлення і два для SMBus інтерфейсу.



а)



б)



в)

Рисунок 2.4 – Схеми включення датчика температури:

- а) Підключення до SMBus шини;
- б) Підключення до SMBus + ШІМ;
- в) Підключення до ШІМ контролеру;

Особливості та переваги:

- легкість інтеграції;
- малі розміри, невелика вартість;
- висока точність  $0.5^{\circ}\text{C}$  в широкому температурному діапазоні ( $0 \dots 50^{\circ}\text{C}$ );
- заводське калібрування в широкому температурному діапазоні:  $-40 \dots 125^{\circ}\text{C}$  для датчика і  $-70 \dots 380^{\circ}\text{C}$  для вимірюваного об'єкта;
- високоточне (медичне) калібрування;

									Арк.
									29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

- SMBus сумісний інтерфейс;
- роздільна здатність вимірювань 0.02°C;
- напруга живлення +3 та +5 В;
- проста адаптація для систем із напругою живлення на +8...+16В;
- різні модифікації корпусу для спеціалізованого застосування;
- режим зниженого енергоспоживання для збереження заряду акумулятора;

Можливі сфери застосування

- безконтактні вимірювання температури;
- датчик температурного комфорту для мобільних систем кондиціонування;
- температурний датчик для побутових і промислових систем кондиціонування;
- запобігання запотівання лобового скла;
- детектування кута мертвої хвилі;
- промисловий температурний датчик рухомих об'єктів;
- термоконтроль в принтерах і копіювальних апаратах;
- побутові прилади з температурним контролем;
- моніторинг худоби в тваринництві;
- детектування переміщень;
- медичне обладнання;
- температурний контроль кількох зон - можливий аналіз даних до 127 датчиків через 2-провідний інтерфейс;
- термореле і сигналізації;
- вимірювання температури людського тіла;

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.2.2 Вибір плати керування мікроконтролера

Arduino Uno – це платформа для швидкої розробки прототипів електронних пристроїв. Arduino Uno програмується через USB порт на платі, і не потребує використання програма торів. Пристрої на базі Arduino можуть мати різноманітне призначення і вимірювати якісь параметри за допомогою різних датчиків, а також можуть управляти роботизованими або силовими виконавчими пристроями. Мікроконтролер на платі Arduino програмується у середовищі розробки Arduino IDE. В процесор Arduino можна завантажити програму, яка буде керувати певними пристроями за заданим алгоритмом. Таким чином, можна створити нескінченну кількість унікальних апаратних платформ, зроблених своїми руками і за власним задумом.

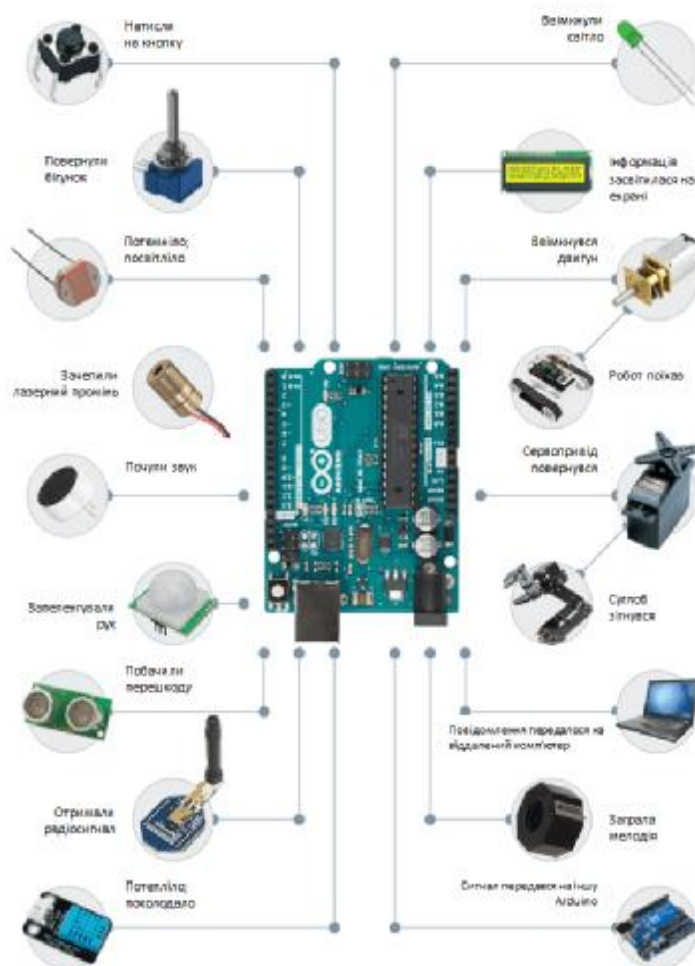


Рисунок 2.5 – Багатофункціональність платформи Arduino Uno

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Програми для Arduino створюються на мові програмування подібній до C++, яка доповнена спеціалізованими функціями та бібліотеками для керування. Середовище програмування «Arduino IDE», що використовується для програмування працює під Windows, Mac OS і Linux.

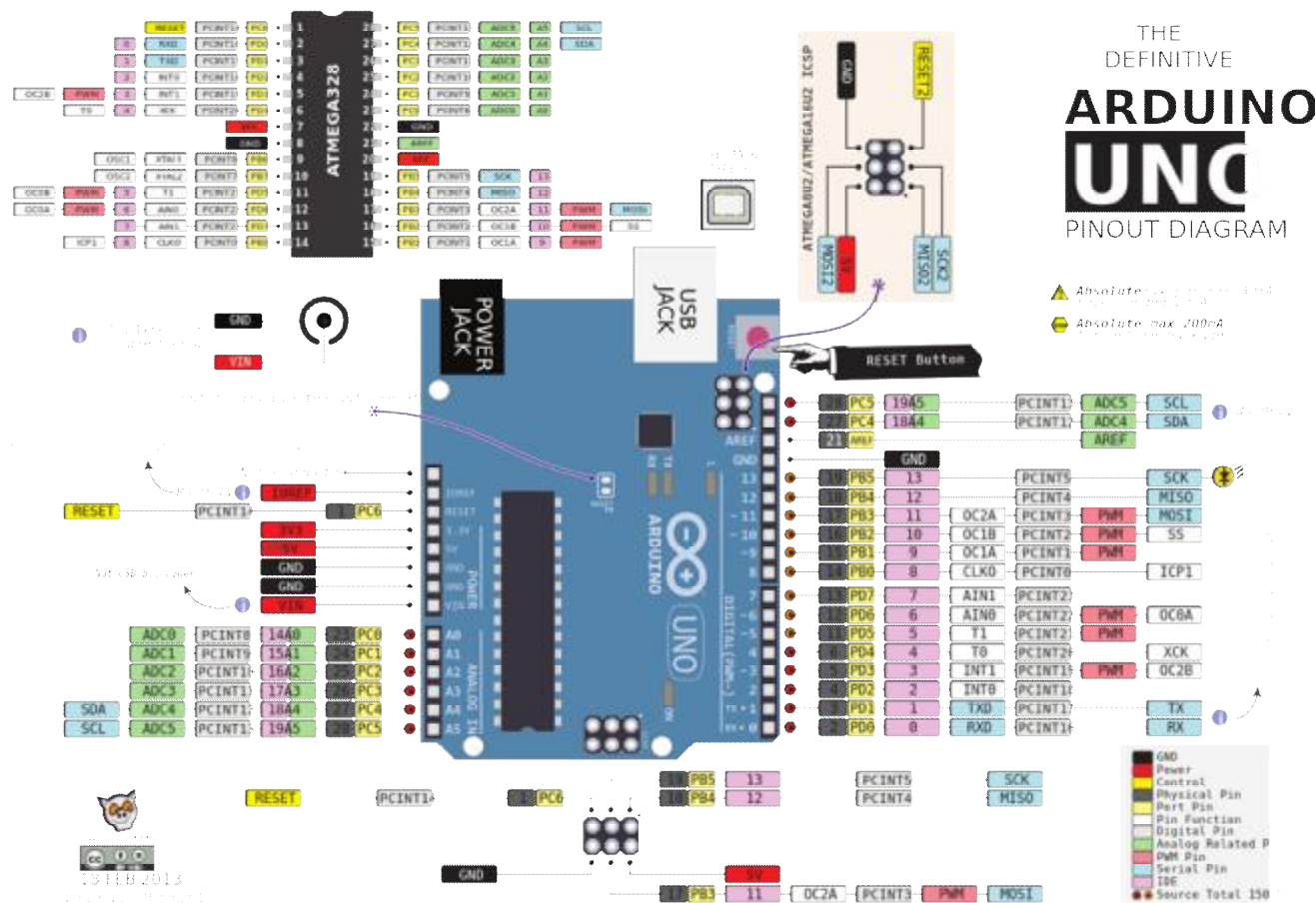


Рисунок 2.6 – Призначення виводів платформи Arduino Uno

Основні технічні характеристики визначаються встановленим на платі Arduino Uno мікроконтролером ATmega328P, який виконує основні функції плати:

- Робоча напруга живлення +5В;
- Вхідна напруга живлення (рекомендована) +7...+12В;
- Вхідна напруга живлення (межа) +6...+20В;
- Цифрові виводи вводу-виводу 14 шт. (з них 6 забезпечують вихід ШІМ);



- ШІМ-цифрові виводи вводу-виводу 6 шт;
- Аналогові вхідні виводи 6 шт;
- Постійний струм на вивід порта вводу-виводу 20 мА;
- Постійний струм для роз'єму +3,3 В 50 мА;
- Об'єм флеш-пам'яті 32 КБ (ATmega328P), з яких 0,5 КБ використовується завантажувачем;
- Об'єм пам'яті SRAM 2 КБ (ATmega328P);
- Об'єм пам'яті EEPROM 1 Кб (ATmega328P);
- Тактова частота мікроконтролера 16 МГц.

Цих характеристик цілком достатньо для роботи комп'ютеризованої системи моніторингу теплових полів технічних об'єктів

### 2.2.3 Вибір лазерного модуля

Лазерний модуль це пристрій, який випромінює один статичний лазерний промінь однієї або декількох довжин хвиль - або кольорів, якщо говорити про видимий спектр світла.

Це сильно відрізняється від терміна "лазерний діод". Лазерний діод є досить крихітним електронним компонентом, який фізично випромінює випромінювання. Що стосується напівпровідникових лазерних діодів, то випромінювання (світло), яке вони випромінюють, є когерентним, тобто випромінювані фотони злипаються і можуть утворювати лазерний промінь.

Лазерні діоди, для лазерних модулів, використовуються від таких компаній, як Mitsubishi, Osram, Sony, Nichia.

Лазерний модуль містив би один або кілька лазерних діодів, а також деякі оптичні та електронні компоненти, які використовуються для роботи діодів та формування променя. Все це, як правило, укладено в надійний корпус.

Кількість діодів, що використовуються всередині модуля, та його внутрішня структура задаються вихідною потужністю модуля, параметрами лазерного променя, такими як розмір (діаметр) та розбіжність, та іншими властивостями, які задаються задачею, для якої призначений лазерний модуль.

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Характеристики лазерного модуля

Середня довжина хвилі	650 нм (645 нм-660 нм)
Застосовувана лінза	Пластикова лінза для кожної одиниці
Вихідна потужність	0.45 до 0.80mW (затвердження FDA)
Вихідна діафрагма приблизно	3,5 мм × 1,7 мм (± 0,5 мм)
Розмір променя становить	10 ~ 15 мм на відстані 10 м. (при температурі 25 °С ± 3 °С)
Лазерна пляма	Коло
Вхідне джерело живлення	DC3.1V ± 10%
Струм споживання	Типовий: 35mA, Макс .: 40mA
Корпус	Пластик (PPS)
Час роботи	3000 годин

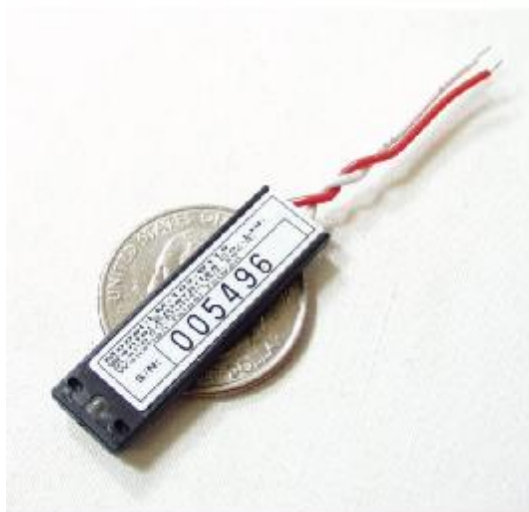


Рисунок 2.7 – Вигляд лазерного модуля

#### 2.2.4 Вибір сервоприводу

EMAX ES08MA II - мініатюрний і високочутливий сервопривід з металевим редуктором. Підходить для невеликих авіамоделей, та пристроїв.

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Перевагами цього сервоприводу є висока точність і швидкість позиціонування. А також має хороші характеристики для таких сервоприводів, швидкістю - 0.10сек/60гр. і зусиллям 2,0 кг/см при +6 В напруги живлення. Також характеризується ударною стійкістю.

Таблиця 2.2 – Характеристики сервопривода

Робоча напруга	+4.8V ~ +6.0V
Робочий струм	200 мА
Швидкість	0.12сек / 60г при +4,8В; 0.10сек / 60г при +6В
Крутний момент	1.6 / 2.0 кг /см (+4.8В / +6В)
Матеріал шестірні	метал
Довжина кабелю	25 см
Тип двигуна	колекторний
Тип серво машинки	аналогова (ШИМ)



Рисунок 2.8 – Вигляд сервопривода

2.3 Опис принципу роботи комп'ютеризованої системи моніторингу теплових полів технічних об'єктів

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

В конструкції пристрою використаний температурний датчик MLX90614 і мікроконтролер Arduino Uno. Принцип роботи пристрою заснований на температурному скануванні об'єкта з подальшою обробкою інформації в комп'ютерній програмі. Виходячи з цього, необхідною умовою є наявність системи управління для сканування.

Ця система організована за допомогою двох рульових машинок від авіаційних моделей і здійснює переміщення температурного датчика, як у вертикальній, так і в горизонтальній площині. В якості підтягуючих резисторів R1 і R2 використовуються резистори номіналом 4.7 кОм. Як ІЧ-датчика був обраний MLX90614 VCI, оскільки у нього вузьке поле зору, а також з-за його легкості в експлуатації. Лазерна указка, в зв'язі з датчиком температури використовується як цілевказувач. Інфрачервоний датчик був з'єднаний з лазером і закріплений на сервокронштейні з рульових машинок. Найпростішим способом управляти пристроєм є управління з комп'ютера. Живлення також здійснюється від комп'ютера. Датчик посилає дані вимірювань в СОМ-порт. Програма для подачі команд пристрою і зчитування даних з датчика, встановлюється на комп'ютері (Термоскан). Алгоритм роботи тепловізора досить простий:

- 1) Відкриваємо віртуальний СОМ-порт Arduino.
- 2) Здійснюємо позиціонування датчика. Для задання області сканування встановлюються 2 точки: bot - нижня ліва точка зображення, mid - центр зображення.
- 3) Запускаємо сканування (сканування ведеться приблизно 2 хвилини при використанні режиму «45x34 пікселів»).
- 4) Збираємо отримані від датчика дані в масив.
- 5) Формуємо зображення.

Інтерфейс програми дуже простий – тільки все найнеобхідніше для роботи. Назви кнопок говорять самі за себе. При натисканні на певний піксель теплової карти буде виведена відповідна йому температура. Кольори для

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

температури вибираються щодо поточних результатів сканування. Найвища температура буде позначена червоним, а найнижча – синім, нехай навіть ці значення будуть відрізнятися на 2-3 градуси. На відстані більш ніж в 50 см результати мають досить велику похибку. Але на близькій відстані показники температури визначаються дуже точно. Сканувати можна тільки невеликі статичні предмети. Пристрій непридатний для великих і рухомих предметів. Значним мінусом, є і тривалий час сканування, а також обов'язкова прив'язка до комп'ютера.

## 2.4 Опис шин, протоколів, які використовуються в проекті.

### 2.4.1 Застосування I<sup>2</sup>C шини для обміну даними між давачем температури і мікроконтролером.

Послідовний протокол обміну даними I2C (Inter-Integrated Circuits) використовує для передачі даних дві дво напрямлені лінії зв'язку (крім спільного проводу), які називаються шина послідовних даних SDA (Serial Data) і шина тактування SCL (Serial Clock). Також є лінія живлення та спільна шина. Шини SDA і SCL підтягуються до шини живлення через узгоджуючи резистори.

Мережа I2C використовує як мінімум один головний пристрій (Master), який розпочинає передачу даних і генерує сигнали синхронізації. У мережі I2C також є підлеглі пристрої (Slave), які передають дані по запиту від головного. У кожного підлеглого пристрою є унікальна адреса, по якій головний звертається до нього. Адреса пристрою для шини I2C вказується в паспорті (datasheet). До однієї шини I2C може бути підключене до 127 пристроїв, у тому числі кілька головних. До шини I2C можна підключати пристрої в процесі роботи, оскільки вона підтримує «гаряче підключення».

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

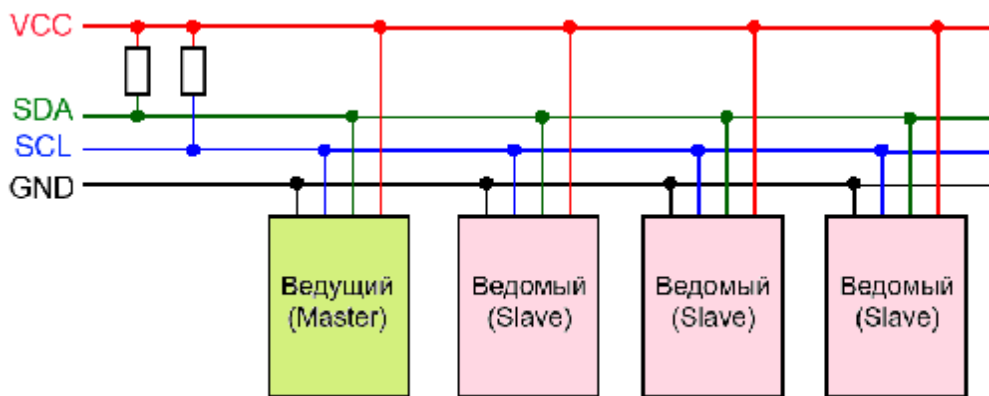


Рисунок 2.9 – Схема побудови шини I2C

Описуючи інтерфейси I2C необхідно дивитись на часову діаграму обміну по протоколу. Оскільки є кілька різних варіантів його роботи. Для цього скористаємося логічним аналізатором, підключеним до шин SCL і SDA.

Головний пристрій починає обмін. Для цього він починає генерувати тактові імпульси на лінії SCL пачкою з 9-ти імпульсів. Одночасно на лінії даних SDA він прописує адресу пристрою, з яким має встановити зв'язок, які припадають на перші 7 тактових імпульсів. Наступний біт посланки – це код операції (читання або запис) і ще один біт – біт підтвердження (ACK), що підлеглий пристрій отримав запит. Якщо біт підтвердження не прийшов, на цьому обмін даними закінчується. Або головний продовжує посилати повторні запити.

Це показано на рисунку. Завдання обміну таке: підключитися до підлеглому пристрою з адресою 0x27 і передати йому рядок "HELLO". У першому випадку, відключено підлеглий пристрій від шини. Головний пристрій намагається встановити зв'язок із підлеглим пристроєм з адресою 0x27, але не одержує підтвердження (NAK). Обмін закінчується.

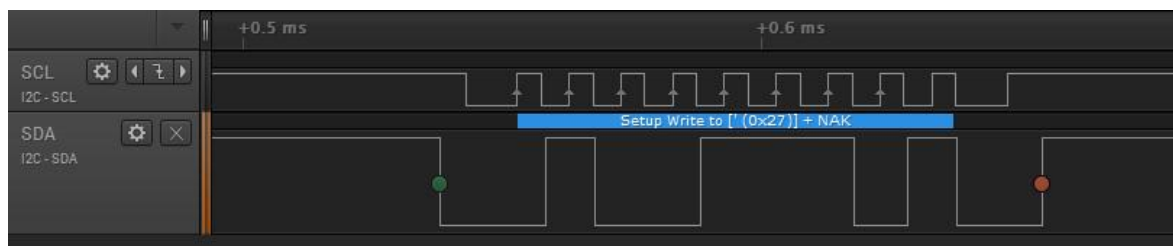


Рисунок 2.10 – Спроба головного пристрою встановити з'єднання з веденим по I2C

Далі підключимо до шини I2C ведений пристрій і повторимо запит. Помітно що на перший пакет з адресою прийшло підтвердження (АСК) від підлеглого пристрою. Обмін даними продовжився та інформація передається 9-бітовими послідовностями, але тепер 8 бітів займають дані, а 1-й біт – біт підтвердження одержання підлеглим кожного байта даних. Якщо в якийсь момент зв'язок обірветься то біт підтвердження не прийде, головний припинить передачу.



Рисунок 2.11 – Часова діаграма обміну по протоколу I2C

Шина даних I2C є зручною для підключення різних мікросхем і модулів, вона легко змінює свою архітектуру в залежності від задач розробника пристрою та підтримує гаряче під'єднання пристроїв.

#### 2.4.2 Управління сервоприводами за допомогою ШІМ сигналів.

Управління сервоприводами відбувається за допомогою широтно-імпульсної модуляції це процес керування тривалістю тобто шириною високочастотних імпульсів керуючим низькочастотним сигналом. В джерелах живлення це є керування середнім значенням вихідної напруги при зміні тривалості включення електронного ключа.

Для цифрових пристроїв вихідні сигнали які можуть набувати тільки одне із двох значень, наближення середнього рівня керованого сигналу є звичайним явищем.

Такий цифровий сигнал перетворюється в аналоговий сигнал простим усередненням імпульсів за кілька періодів за допомогою простого фільтра низьких частот. Але цього не потрібно, бо електромеханічні складові

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сервопривода мають індуктивність, а об'єкт керування — інерцією, імпульси з виходу згладжуються тому об'єкт керування, при досить високій частоті сигналу, поводитья як при керуванні звичайним аналоговим сигналом.

Цифрові прямокутні підімпульси, що заповнюють період ШІМ сигналу, можуть знаходитись в будь-якому місці пакету підімпульсів, тому що на середню величину за період впливає тільки їх кількість. Наприклад, при розбивці пакету на 8 частин послідовностями типу 11110000, 11100100, 11100001 та ін. несуть однакову середню енергію на період тривалості пакету.

## 2.5 Стабільність роботи програмного забезпечення комп'ютеризованої системи

Комп'ютеризована система буде взаємодіяти з механічними пристроями і машинами, які в деяких випадках можуть викликати помилки. Тому програмне забезпечення мікроконтролера має бути розробленим та випробованим більш ретельно, ніж для персональних комп'ютерів.

Для підвищення надійності роботи програмного забезпечення комп'ютеризованої системи використовуються різноманітні методи, іноді в поєднанні один з одним, щоб захиститись від помилок програмного забезпечення, або помилок в апаратній частині:

Сторожовий таймер апаратно реалізована схема контролю за зависанням системи, який перезавантажує мікроконтролер, якщо програмне забезпечення повідомляє схему безпеки про збій. Він являє собою таймер, який періодично перезапускається контрольованою системою. Якщо скидання не відбулося протягом деякого інтервалу часу, відбувається примусовий перезапуск системи. У деяких випадках сторожовий таймер може посилати системі сигнал на перезавантаження («м'яке» перезавантаження), в інших – перезавантаження відбувається апаратно, завдяки замиканню сигнального проводу RST або подібного йому.

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Фізично сторожовий таймер може бути реалізованим як:

- Самостійний пристрій в окремій мікросхемі;
- Частиною кристала SoC.

Сторожовий таймер має незалежний генератор й працює незалежно від основної системи. Через певні проміжки часу (при настанні події Time-Out) він примусово перезавантажує основну систему. Нормально працююча система постійно обнуляє ("скидає") WDT через проміжки часу, менше його періоду, для того щоб уникнути перезавантаження. Зазвичай, скидання WDT здійснюється командою WDR (Watch Dog Reset).

– Підсистем з надлишковою кількістю запасних частин, на які можна перемикаєти;

– Захист від збоїв живлення в програмуванні – призупинення роботи мікроконтролера при зникненні напруги живлення (англ. Black-Out) або при напрузі живлення нижче допустимого рівня (англ. Brown-Out).

Для того щоб CPU мікроконтролера міг успішно декодувати і виконувати інструкції програми, напруга живлення повинна завжди бути більше мінімально допустимого рівня, що залежить від робочої частоти. Коли напруга живлення опускається нижче цього рівня, процесор може почати виконувати деякі інструкції неправильно. В результаті можуть відбуватися не заплановані процеси у внутрішній пам'яті і на лініях управління. Це може привести до пошкодження інформації в регістрах процесора, I/O регістрах і в пам'яті даних.

Для того щоб уникнути цього, необхідно не допустити виконання коду CPU, при провалах напруги живлення. Для цього найкраще використовувати зовнішній детектор зниженої напруги живлення. При зменшенні напруги нижче фіксованого порога, детектор формує низький (активний) рівень на виведення RESET. Це негайно зупиняє CPU, не дозволяючи йому виконувати програму. Поки напруга живлення нижче порогового, мікроконтролер зупинений, і система перебувати у відомому стані. Коли напруга живлення знову піднімається до встановленого значення, вивід RESET звільняється і

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

мікроконтролер починає виконувати програму з адреси вектора перезапуску (0x0000)

## 2.6 Опис використовуваних бібліотек

Бібліотека GNU LGPL v2.1 це бібліотека Arduino для підтримки інфрачервоного термометра Melexis MLX90614 який підключається за допомогою інтерфейсу I2C. Для підтримки I2C використовується програмне забезпечення для розбиття бітів Arduino. GNU LGPL v2.1.

Її можна використовувати на всіх платах Arduino, бо ця бібліотека сумісна з усіма архітектурами Arduino.

Бібліотека Servo. Стандартна бібліотека яка необхідна для керування серводвигунами й часто використовується в проектах з маніпуляторами.

```
#include <Servo.h>
```

Servo myservo; – створення об'єкта для серводвигуна..

myservo.attach(); – номер виходу, до якого підключений серводвигун.

myservo.write(180, 30, true); – рух на 180 градусів, швидкість 30, очікування закінчення руху.

Бібліотека Wire. Дана бібліотека дозволяє Arduino взаємодіяти з різними пристроями по інтерфейсу I2C / TWI. На платах Arduino версії R3 лінії SDA (дані) і SCL (тактові імпульси), пов'язані із цим інтерфейсом, розташовані на роз'ємі біля контакту AREF.

Починаючи з версії мови Arduino 1.0, бібліотека Wire успадковує функції класу Stream, що дозволяє їй бути сумісною з іншими бібліотеками, що здійснюють запис і читання даних. Тому, що методи send() і receive() були замінені методами read() і write().

Згідно із протоколом I2C, адреса пристрою може складатися як з 7, так і з 8 біт. Як правило, 7 біт ідентифікують пристрій, у той час, як восьмий біт задає напрямок передачі даних: від пристрою (читання) або до нього (запис). Усі

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

функції бібліотеки Wire використовують 7-бітну адресацію. Тому, при роботі із пристроєм, що використовують 8-бітну адресацію, необхідно відкидати молодший біт (шляхом зсуву значення на один біт вправо), тим самим обмежуючи діапазон можливих адрес у межах 0 - 127.

Бібліотека EEPROM. У мікроконтролері Arduino є EEPROM — пам'ять, у якій інформація зберігається навіть після його вимикання (подібно до жорсткого диску). Ця бібліотека дозволяє зчитувати інформацію із цієї пам'яті.

Об'єм пам'яті EEPROM різних мікроконтролерів, що входять до складу Arduino, може відрізнитися: 1024 байта в Atmega328, 512 байт - в Atmega168 і Atmega8, 4 КБ (4096 байт) - в Atmega1280 і Atmega2560.

## 2.7 Проектування алгоритму роботи комп'ютеризованої системи

Отже після включення система знаходиться в стані очікування даних від ПК і опитує USB порт. При отриманні команди сканувати і параметрів сканування, мікроконтролер виставляє сервомотори в початковий, нульовий стан, і починає сканувати. Тобто відбувається вимірювання температури і рух ІЧ термометра і лазера з поворотом на певний кут, який залежить від заданої роздільної здатності на ПК. Після кожного переміщення зліва на право на заданий кут відбувається вимірювання доки не буде пройдена стрічка сканування і не почнеться наступна з початкового стану. Після кожного вимірювання параметри температури додаються в масив, який після завершення сканування надсилається на ПК і відображається на його екрані.

Після надсилання даних скануюча система повертається в стан очікування команди від ПК, тобто опитує USB порт про команду на сканування. Програмне середовище на ПК може задавати розмір, тобто роздільну здатність теплового зображення при скануванні. На параметри сканування впливають кут огляду WEB камери і кут чутливості ІЧ термометра. При роздільній здатності більше ніж 12\*9 сканування відбувається з

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

перекриваннями зон вимірювання, оскільки кут чутливості ПЧ термометра має 10 градусів, а кут огляду WEB камери 90 градусів.

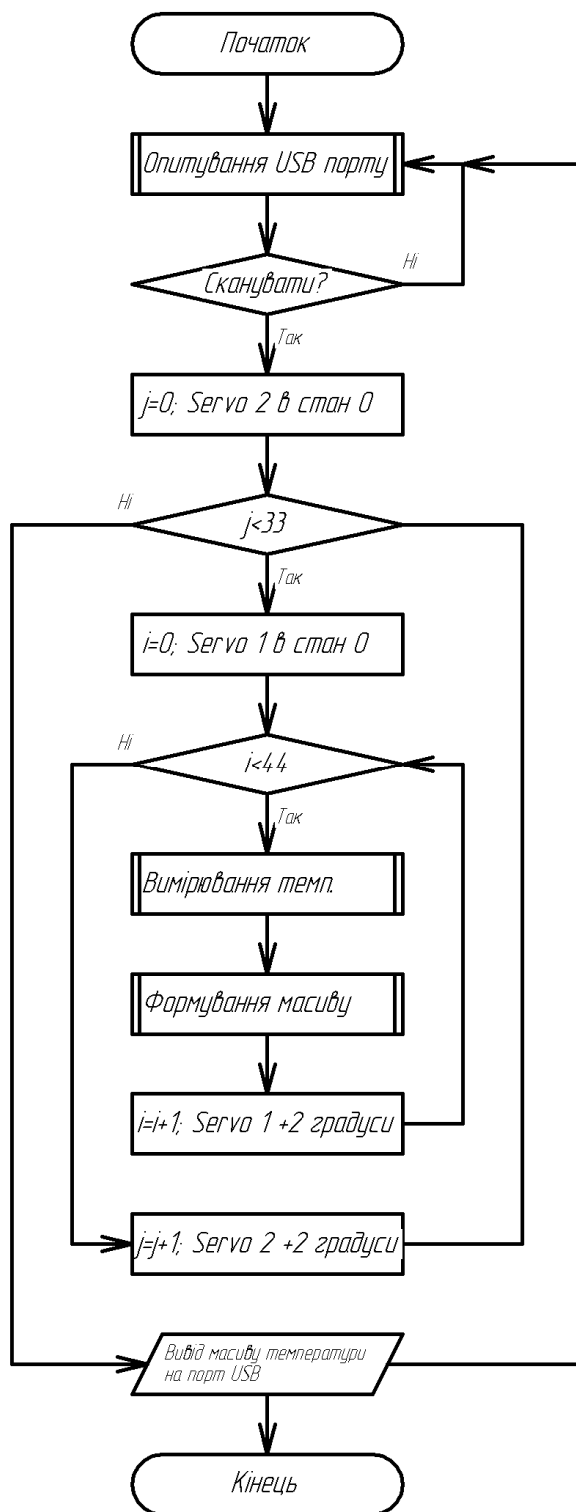


Рисунок 2.10 –Блок схема алгоритму роботи комп’ютеризованої системи моніторингу теплових полів технічних об’єктів

Сканування з перекриваннями зон вимірювання дає більш згладжену картинку тепловізійного зображення.

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### 3.1 Підключення і налаштування модулів

Налаштування роботи системи починається з покрокового підключення і налаштування модулів і сервоприводів. Починаємо з ІЧ термометра MLX90614.

Схема підключення ІЧ термометра MLX90614 до Arduino Uno на рисунку 3.1.

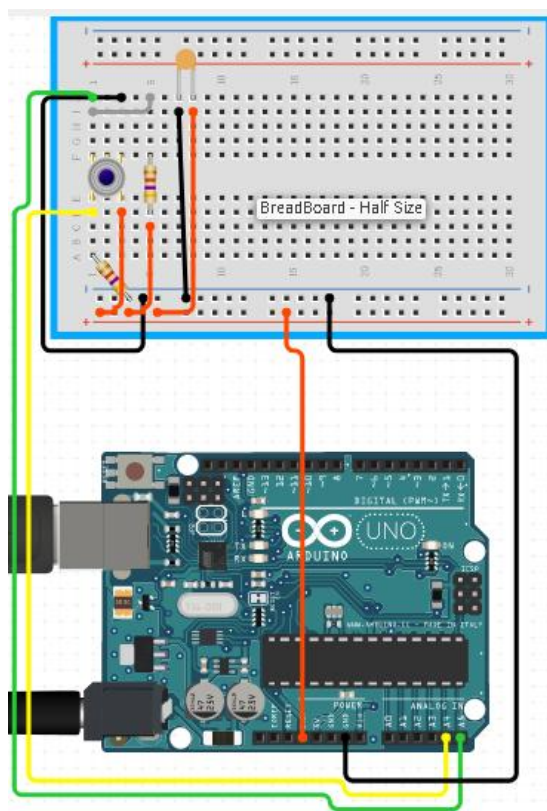


Рисунок 3.1 – Схема підключення ІЧ термометра MLX90614 до Arduino Uno

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Комп'ютеризована система моніторингу теплових полів технічних об'єктів Пояснююча записка</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Харитон Б.В.					46	58
Перевір.		Лупенко С.А.						
Н. Контр.								
Затверд.		Осухівська Г.М.						
						ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-44		

Для програмування ІЧ термометра MLX90614 використовуємо бібліотеку MLX90614.h, яку необхідно встановити через диспетчер бібліотек ( Sketch> Включити бібліотеку> диспетчер бібліотек ). Завантажити код на плату Arduino Uno.

```
// Connecting libraries
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MLX90614.h>
// Creating an instance of an object
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
```

Якщо відкрити монітор послідовного порту Arduino Uno то температура навколишнього середовища і температура об'єкта виводяться на послідовний порт кожні 3 секунди.

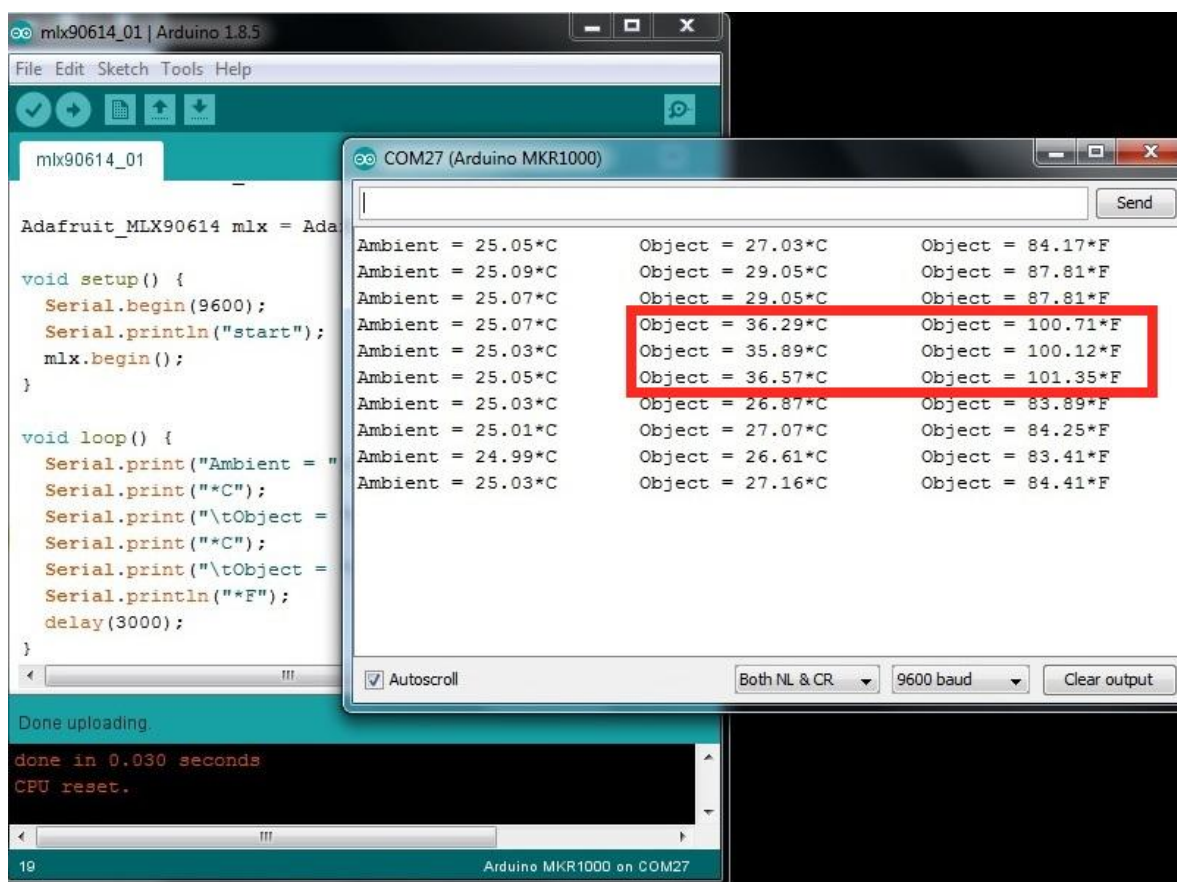


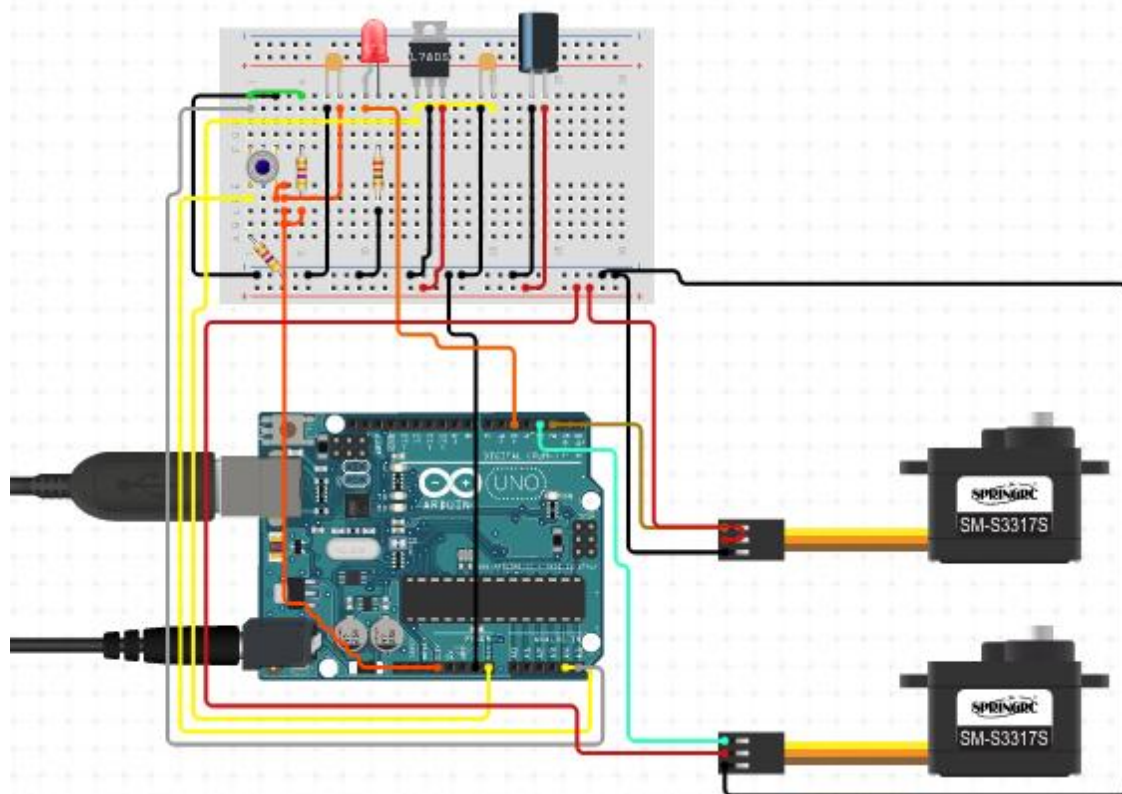
Рисунок 3.2 – Монітор послідовного порту Arduino Uno.

Тобто в такий спосіб перевірили працездатність ІЧ термометра MLX90614, його можна направити на посудину з киплячою водою і оцінити орієнтовну точність ІЧ термометра MLX90614.

Наступний крок це конфігурування ІЧ термометра MLX90614. Для цього використаємо скрипт для конфігурування датчика температури MLX90614, який наведено в додатках. Для його заливки використаємо Arduino IDE. Після заливання даного скрипта в Arduino, відкриваємо Serial Monitor і тиснемо клавішу. Програма змінить налаштування EEPROM датчика. Це потрібно зробити тільки один раз. Після того, як побачимо напис "Finish" від'єднаємо Arduino від ПК і приєднаємо його знову.

### 3.2 Підключення сервомоторів

Підключаємо сервомотори згідно схеми на рисунку 3.3.



					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48



### Рисунок 3.3 – Схема підключення сервомоторів

Сервомотором кутового обертання можна управляти за допомогою бібліотек Servo або Servo2. А також сервомотором постійного обертання, відмінність полягає в тому, що функція Servo.write(angle) задає не кут, а швидкість обертання привода.

Бібліотека Servo виконує програмне керування сервомоторами. Керування здійснюється наступними командами:

- attach() — приєднує сервомотор до конкретного виводу плати. Можливі наступні варіанти запису цієї функції: servo.attach(pin) і servo.attach(pin, min, max). При цьому pin — номер виводу, до якого приєднують сервомотор, min і max — довжини імпульсів у мікросекундах, відповідальних за кути повороту 0° і 180°. За замовчуванням виставляються рівними 544 мкс і 2400 мкс відповідно. Значення, що вертається, немає.

- write() — віддає команду сервомотору прийняти задане значення параметра. Синтаксис: servo.write(angle), де angle — кут, на який повинен повернутися сервомотор.

- writemicroseconds() — віддає команду послати на сервомотор імпульс заданої довжини, є фізичним аналогом попередньої команди. Синтаксис наступний: servo.writemicroseconds(us), де us — довжина імпульсу в мікросекундах.

- read() — читає поточне значення кута, у якому перебуває сервомотор. Синтаксис: servo.read(), вертається ціле значення від 0 до 180.

- attached() — перевірка, чи була приєднаний об'єкт до конкретного виводу. Синтаксис наступний: servo.attached(), вертається логічна істина, якщо об'єкт була приєднаний до якого-небудь виводу, або неправда у зворотному випадку.

- detach() — робить дію, зворотне дії attach(), тобто від'єднує сервомотор від виводу, до якого був приписаний. Синтаксис: servo.detach().

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У бібліотеці Servo для Arduino за замовчуванням виставлені наступні значення довжин імпульсу: 544 мкс — для 0° і 2400 мкс — для 180°.

Приклад підключення двох сервомоторів.

```
#include <Servo.h>

// створюємо об'єкти для керування сервомоторами
Servo myservo1;
Servo myservo2;

void setup()
{
  // підключаємо сервомотори до виводів 11 і 12
  myservo1.attach(11);
  myservo2.attach(12);
}

void loop()
{
  // встановлюємо сервомотори в серединне положення
  myservo1.write(90);
  myservo2.write(90);
  delay(500);
  // встановлюємо сервомотори в крайнє лівє положення
  myservo1.write(0);
  myservo2.write(0);
  delay(500);
  // встановлюємо сервомотори в крайнє правє положення
  myservo1.write(180);
  myservo2.write(180);
  delay(500);
}
```

### 3.3 Запуск основної програми

Далі, щоб скетч працював правильно, і видавав адекватні значення температури, необхідно визначити вектор калібрувальних констант  $\alpha_{ij}$ . Зробити це можна за допомогою додаткової програми MLX90614\_alphaCalculator. Запускаємо її, і в моніторі COM порту отримуємо

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

готовий вектор. Потім, вставляємо його в основну програму MLX90614\_Example.ino.

Цей код базується на коді maxbot та ПВaboomba. Нижче наведено код який показує, як зчитувати та обчислювати 64 параметри температури для 64 пікселів термовізійного датчика MLX90614.

Масив `alpha_ij` характерний для кожного датчика і повинен розраховуватися окремо. Варто переглянути скеч 'MLX90614\_alphaCalculator', щоб отримати ці значення. Якщо немає необхідності обчислювати ці значення цей скеч все одно буде працювати, але показані температури будуть дуже неточними.

Щоб цей код працював, підключаємо MLX90614 до Arduino, використовуючи такі виводи:

- A5 до 330 Ом до SCL
- A4 до 330 Ом до SDA
- 3,3 В до VDD
- GND до VSS

В проєкті використано внутрішні pull-ups на лініях SDA/SCL. Зазвичай для I2C слід використовувати ~4.7k pull-ups.

```
*/  
  
#include <i2cmaster.h>  
//i2cmaster comes from here: http://www.cheap-  
thermocam.bplaced.net/software/I2Cmaster.rar  
  
#include "MLX90614_registers.h"
```

`int irData` містить необроблені ІЧ-дані від датчика температури, розрахункові температури кожного пікселя в масиві `Tambient`, а також відстежує зміну температури навколишнього середовища датчика байт `eepromData`. Константи, розраховані на основі даних калібрування, зберігаються в EEPROM і їх обчислюємо за допомогою скечу `MLX90614_alphaCalculator`

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

```

float alpha_ij[64] = {
    1.66583E-8, 1.85792E-8, 1.78807E-8, 1.57270E-8, 1.87538E-8,
    2.05582E-8, 1.98597E-8, 1.81717E-8,
    2.05582E-8, 2.21880E-8, 2.27119E-8, 1.96269E-8, 2.27701E-8,
    2.45745E-8, 2.45745E-8, 2.10239E-8,
    2.43417E-8, 2.62044E-8, 2.59715E-8, 2.31776E-8, 2.50402E-8,
    2.77178E-8, 2.74267E-8, 2.46328E-8,
    2.57969E-8, 2.83580E-8, 2.76596E-8, 2.50984E-8, 2.60297E-8,
    2.88237E-8, 2.86491E-8, 2.57387E-8,
    2.62044E-8, 2.86491E-8, 2.85909E-8, 2.50402E-8, 2.62626E-8,
    2.90565E-8, 2.85909E-8, 2.50402E-8,

    2.55059E-8, 2.83580E-8, 2.78924E-8, 2.57387E-8, 2.52730E-8,
    2.76596E-8, 2.74267E-8, 2.52730E-8,
    2.41089E-8, 2.62044E-8, 2.66700E-8, 2.45745E-8, 2.27701E-8,
    2.57387E-8, 2.55059E-8, 2.31194E-8,
    2.12567E-8, 2.41089E-8, 2.41089E-8, 2.21880E-8, 1.92194E-8,
    2.27119E-8, 2.21880E-8, 2.05582E-8,
};

```

В основному циклі використовується байт loopCount = 0.

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("MLX90614 Example");
  i2c_init(); //Init the I2C pins
  PORTC = (1 << PORTC4) | (1 << PORTC5); //Enable pull-ups
  delay(5); //Init procedure calls for a 5ms delay after power-
on
  read_EEPROM_MLX90614(); //Read the entire EEPROM
  setConfiguration(refreshRate); //Configure the MLX sensor
with the user's choice of refresh rate
  calculate_TA(); //Calculate the current Tambient
}

void loop()
{
  if(loopCount++ == 16) //Tambient changes more slowly than the
pixel readings. Update TA only every 16 loops.
  {
    calculate_TA(); //Calculate the new Tambient
    if(checkConfig_MLX90614()) //Every 16 readings check that
the POR flag is not set
    {
      Serial.println("POR Detected!");
      setConfiguration(refreshRate); //Re-write the
configuration bytes to the MLX
    }
    loopCount = 0; //Reset count
  }

  readIR_MLX90614(); //Get the 64 bytes of raw pixel data into
the irData array
  calculate_TO(); //Run all the large calculations to get the
temperature data for each pixel
  prettyPrintTemperatures(); //Print the array in a 4 x 16
pattern
  //rawPrintTemperatures(); //Print the entire array so it can
more easily be read by Processing app
}

```

З 256 байт даних EEPROM ініціалізуємо порожнечу varInitialization (byte calibration\_data [])

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

    {
        v_th      =      256      *      calibration_data[VTH_H]      +
calibration_data[VTH_L];
        k_t1      =      (256      *      calibration_data[KT1_H]      +
calibration_data[KT1_L]) / 1024.0; //2^10 = 1024
        k_t2      =      (256      *      calibration_data[KT2_H]      +
calibration_data[KT2_L]) / 1048576.0; //2^20 = 1,048,576
        emissivity      =      ((unsigned      int)256      *
calibration_data[CAL_EMIS_H]      +      calibration_data[CAL_EMIS_L]) /
32768.0;
        a_cp = calibration_data[CAL_ACP];
        if(a_cp > 127) a_cp -= 256; //These values are stored as
2's compliment. This coverts it if necessary.

        b_cp = calibration_data[CAL_BCP];
        if(b_cp > 127) b_cp -= 256;
        tgc = calibration_data[CAL_TGC];
        if(tgc > 127) tgc -= 256;
        b_i_scale = calibration_data[CAL_BI_SCALE];

        for(int i = 0 ; i < 64 ; i++)
        {
            //Read the individual pixel offsets
            a_ij[i] = calibration_data[i];
            if(a_ij[i] > 127) a_ij[i] -= 256; //These values are
stored as 2's compliment. This coverts it if necessary.

            //Read the individual pixel offset slope coefficients
            b_ij[i] = calibration_data[0x40 + i]; //Bi(i,j) begins 64
bytes into EEPROM at 0x40
            if(b_ij[i] > 127) b_ij[i] -= 256;
        }
    }
}

```

Отримує частоту оновлення для сканування датчика. Встановлюємо два байтові регістри конфігурації. Ця функція перезаписує те, що зараз знаходиться в регістрах конфігурації. MLX, void setConfiguration (int irRefreshRateHZ).

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

```

{
    byte Hz_LSB;

    switch(irRefreshRateHZ)
    {
    case 0:
        Hz_LSB = 0b00001111;
        break;
    case 1:
        Hz_LSB = 0b00001110;
        break;
    case 2:
        Hz_LSB = 0b00001101;
        break;
    case 4:
        Hz_LSB = 0b00001100;
        break;
    case 8:
        Hz_LSB = 0b00001011;
        break;
    case 16:
        Hz_LSB = 0b00001010;
        break;
    case 32:
        Hz_LSB = 0b00001001;
        break;
    default:
        Hz_LSB = 0b00001110;
    }

    i2c_start_wait(MLX90614_WRITE);
    i2c_write(0x03); //Command = configuration value
    i2c_write((byte)Hz_LSB - 0x55);
    i2c_write(Hz_LSB);
    i2c_write(defaultConfig_H - 0x55); //Assumes NA = 0, ADC low
reference enabled, Ta Refresh rate of 2Hz
    i2c_write(defaultConfig_H);
    i2c_stop();
}

```

Зчитуємо 256 байт з MLX EEPROM і налаштуємо різні константи void  
read\_EEPROM\_MLX90614()

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

{
    i2c_start_wait(MLX90614_EEPROM_WRITE);
    i2c_write(0x00); //EEPROM info starts at location 0x00
    i2c_rep_start(MLX90614_EEPROM_READ);

    //Read all 256 bytes from the sensor's EEPROM
    for(int i = 0 ; i <= 255 ; i++)
        eepromData[i] = i2c_readAck();

    i2c_stop(); //We're done talking

    varInitialization(eepromData); //Calculate a bunch of
    constants from the EEPROM data

    writeTrimmingValue(eepromData[OSC_TRIM_VALUE]);
}

```

Далі 8-бітове число з EEPROM (ведена адреса 0x50), запис значення в датчик MLX (ведена адреса 0x60) void writeTrimmingValue (байт val)

```

{
    i2c_start_wait(MLX90614_WRITE); //Write to the sensor
    i2c_write(0x04); //Command = write oscillator trimming value
    i2c_write((byte)val - 0xAA);
    i2c_write(val);
    i2c_write(0x56); //Always 0x56
    i2c_write(0x00); //Always 0x00
    i2c_stop();
}

```

Далі обчислюємо температуру, що спостерігаються для кожного пікселя і переводимо на необроблений масив irData, після чого повертаємо масив із 64-ти int, який називається temperature void calcu\_TO (){

```

float v_ir_off_comp;
float v_ir_tgc_comp;
float v_ir_comp;

```

Наступним кроком є обчислення компенсації зміщення для одного пікселя

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56



```

    int cpix = readCPIX_MLX90614(); //Go get the raw data of the
    compensation pixel
    float v_cp_off_comp = (float)cpix - (a_cp + (b_cp/pow(2,
    b_i_scale)) * (Tambient - 25));

    for (int i = 0 ; i < 64 ; i++)
    {
        v_ir_off_comp = irData[i] - (a_ij[i] +
        (float)(b_ij[i]/pow(2, b_i_scale)) * (Tambient - 25)); // #1:
        Calculate Offset Compensation

        v_ir_tgc_comp = v_ir_off_comp - ( ((float)tgc/32) *
        v_cp_off_comp); // #2: Calculate Thermal Gradien Compensation (TGC)

        v_ir_comp = v_ir_tgc_comp / emissivity; // #3: Calculate
        Emissivity Compensation

        temperatures[i] = sqrt( sqrt( (v_ir_comp/alpha_ij[i]) +
        pow(Tambient + 273.15, 4) )) - 273.15;
    }
}

```

Виводимо інформацію про температури таким чином, щоб їх було легше переглянути у вікні void prettyPrintTemperatures ()

```

{
    Serial.println();
    for(int i = 0 ; i < 64 ; i++)
    {
        if(i % 16 == 0) Serial.println();
        Serial.print(convertToFahrenheit(temperatures[i]));
        //Serial.print(irData[i]);
        Serial.print(", ");
    }
}

```

Виводимо дані температури таким чином, щоб їх легше аналізував додаток Processing. Кожен рядок починається з '\$' і закінчується '\*' void rawPrintTemperatures () ()

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

```

{
  Serial.print("$");
  for(int i = 0 ; i < 64 ; i++)
  {
    Serial.print(convertToFahrenheit(temperatures[i]));
    Serial.print(","); //Don't print comma on last temperature
  }
  Serial.println("*");
}

```

Таким чином програма виконує сканування поверхні досліджуваного об'єкта. Дані виводяться в додатку на ПК

### 3.4 Результати роботи системи моніторингу теплових полів технічних об'єктів

При запуску додатку для моніторингу теплових полів можна задати параметри сканування об'єкта (рис. 3.4.).



Рисунок 3.4 – Вікно програми для задання параметрів сканування

При отриманні параметрів сканування система починає сканувати задану зону з кроком який визначається в залежності від заданої роздільної здатності (рис. 3.5)



Рисунок 3.5 – Сканер теплових полів у складі ІЧ термометра, лазера і сервомоторів, які повертають систему на потрібний кут.

Отримані дані від ІЧ термометра повертаються до ПК і відображаються відповідною кольоровою палітрою, червоні зони тепліші, сині зони холодніші. В робочому вікні можна змінити параметри кольорової палітри у відповідності до температури, а також виставити точки з необхідною нам температурою, рис.3.6.

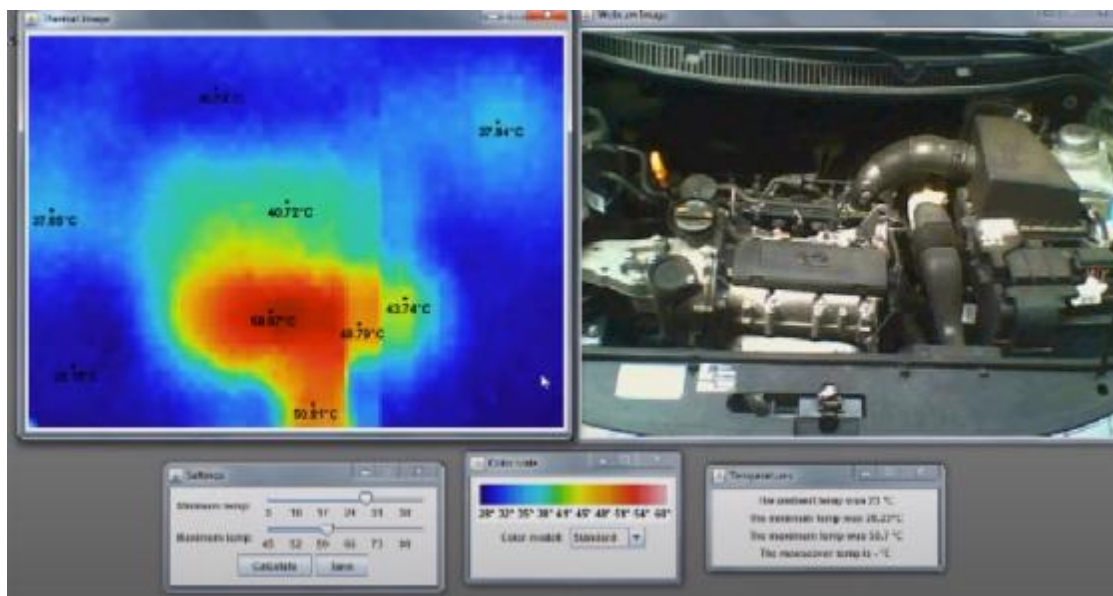


Рисунок 3.6 – Теплове поле двигуна автомобіля.

Отримані теплові поля технічних об'єктів дозволяють ідентифікувати складові технічних, технологічних, електричних та ін. об'єктів з аномальними режимами роботи. Розроблена системи має достатні характеристики для

діагностування роботи об'єктів і характеризується низькою ціною. Недоліком такої скануючої системи є те що вона може працювати із статичними або малорухливими об'єктами.

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Принципи, способи та засоби захисту населення.

Комплекс підготовчих захисних заходів є однаковим як для мирного , так і воєнного часу, оскільки враховує поєднання впливу уражаючих факторів НС техногенного характеру і можливого застосування агресором сучасних засобів ураження.

Основні принципи та способи захисту населення і території

Захист населення і територій від НС здійснюються на відповідним принципах, що забезпечують максимально ефективне вирішення проблеми:

- пріоритетність завдань спрямованих на захист людей, збереження їх здоров'я і довкілля;

- обов'язковість завчасного планування і реалізації заходів щодо захисту населення і територій з урахуванням економічних, природних та інших особливостей регіону і ймовірності виникнення НС;

- комплексне використання способів і засобів захисту і надання переваги раціональності при виборі способу захисту;

- вільний доступ населення до інформації щодо захисту населення від НС;

- особиста відповідальність керівників органів ЦЗ і піклування громадян про власну безпеку, неухильне дотримання ними правил поведінки та дій у НС.

Основними способами захисту населення від уражаючих дій факторів, що створюються в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу є [Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-6, розділ 4]:

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Харитон Б.В.			Комп'ютеризована система моніторингу теплових полів технічних об'єктів Пояснююча записка	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Лупенко С.А.					61	58
Н. Контр.						ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-44		
Затверд.		Осухівська Г.М.						

укриття людей в захисних спорудах

- евакуаційні заходи
- радіаційний і хімічний захист
- медичний захист
- біологічний захист
- психологічний захист
- інженерний захист територій (сховища, протирадіаційні укриття)

Укриття людей в захисних спорудах – своєчасне укриття людей в спеціальних інженерних спорудах, які здатні захистити людей від дій уражаючих факторів або послабити їх дії.

Як спосіб захисту, евакуаційні заходи полягають в завчасному (до початку виникнення НС, в період загрози) вивезенні (виведенні населення із місць можливого ураження, зони катастрофічного затоплення (зараження) в безпечні райони на тимчасове або постійне проживання.

В умовах неповного забезпечення захисними спорудами в містах та інших населених пунктах, що мають об'єкти підвищеної небезпеки, а також на випадок війни евакуація є основним способом захисту населення і проведення її планується і готується заздалегідь. Залежно від обстановки, яка склалася на час НС, може бути загальна або тимчасова евакуація.

Загальна евакуація проводиться для всіх категорій населення і планується на випадок війни, можливого небезпечного радіоактивного забруднення територій навколо атомних електростанцій, виникнення загрози катастрофічного затоплення місцевості з чотиригодинним доходженням проривної хвилі, лісових і торф'яних пожежах, інших явищ з тяжким наслідками, що загрожують населеним пунктам.

Під час проведення тимчасової евакуації завчасно вивозиться не зайняте у сфері виробництва та обслуговування населення: діти, учні навчальних закладів, вихованці дитячих будинків разом з викладачами та вихователями,

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

студенти, пенсіонери та інваліди, які утримуються у будинку для осіб похилого віку разом з обслуговуючим персоналом та членами їх сімей.

Радіаційний і хімічний захист включає заходи щодо виявлення та оцінки радіаційної і хімічної обстановки, організації та здійснення дозиметричного і хімічного контролю, розроблення і впровадження типових режимів радіаційного захисту, забезпечення населення засобами індивідуального та колективного захисту з погіршеними характеристиками, організацію та проведення спеціальної обробки.

Медичний захист – заходи, що спрямовані на запобігання або зменшення ступеня ураження людей завдяки своєчасному застосуванню медичних препаратів, надання медичної допомоги постраждалим та їх лікування і психологічного відновлення, забезпечення епідемічного благополуччя в зонах надзвичайних ситуацій, контролю за станом довкілля, санітарно-гігієнічною та епідемічною ситуацією.

Медичний захист може бути надійно здійснений за умов завчасного створення і підготовки спеціальних медичних формувань, накопичення медичних засобів захисту, медичного та спеціального майна і техніки, планування і використання існуючих сил та засобів, закладів охорони здоров'я незалежно від форм власності і господарювання.

Біологічний захист населення, тварин і рослин включає своєчасне виявлення чинників, масштабів та наслідків біологічного зараження і проведення комплексу адміністративно-господарських, режимно-обмежувальних та спеціальних протиепідемічних і медичних заходів.

Біологічний захист передбачає: своєчасне використання колективних та індивідуальних засобів захисту; запровадження режимів карантину та обсервації; знезаражування осередку бактеріологічного ураження; проведення в разі необхідності знезаражування людей, тварин тощо; своєчасну локалізацію зони біологічного ураження; проведення екстреної та специфічної

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

профілактики; додержання протиепідемічного режиму населенням, підприємствами, установами та організаціями.

Психологічний захист населення спрямовується на зменшення та нейтралізацію негативних психічних станів і реакцій серед населення у разі загрози та виникнення НС.

Інженерний захист території – здійснення таких заходів інженерного напрямку під час проектування, будівництва і експлуатації споруд та потенційно небезпечних об'єктів, що спрямовані на запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, підвищення стійкості функціонування об'єктів в умовах НС, мирного і воєнного часу.

Заходи інженерного захисту населення та території повинні передбачити: врахування під час забудови населених пунктів і містобудування можливих проявів на окремих територіях небезпечних та катастрофічних явищ; віднесення міст до відповідних груп, а об'єктів господарювання категорій ЦЗ; розроблення та включення вимог інженерно-технічних заходів ЦЗ до відповідних видів містобудівної і проектної документації та реалізація їх під час будівництва і експлуатації; раціональне розміщення об'єктів підвищеної небезпеки з урахуванням можливих наслідків їх діяльності та у разі виникнення аварії; спорудження будівель, інженерних мереж і транспортних комунікацій із заданими рівнями стійкості, безпеки та надійності; будівництво протизсувних, протиповеневих, протиселевих, протилавинних та інших інженерних споруд спеціального призначення.

4.2 Вплив електромагнітних полів (ЕМП) на людину та заходи щодо зменшення їх впливу на обслуговуючий персонал.

Тривалий вплив електричного поля на організм людини, при експлуатації засобів зв'язку, може викликати порушення функціонального стану нервової і серцево-судинної систем. Це виражається в підвищеній стомлюваності,

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64



зниженні якості виконання робочих операцій, болях в області серця, зміні кров'яного тиску і пульсу.

Тому працівники повинні дотримуватись вимог інструкції охорони праці, яка розробляється на основі ДНАОП 0.00-8.03-93 "Порядок опрацювання та затвердження власником нормативних актів про охорону праці, що діють на підприємстві", ДНАОП 0.00-4.15-98 "Положення про розробку інструкцій з охорони праці", ДНАОП 0.00-4.12-99 "Типове положення про навчання з питань охорони праці", НПАОП 85.11-1.10-84 "Правила з техніки безпеки при експлуатації виробів медичної техніки в установах охорони здоров'я. Загальні вимоги", також обов'язковим є проведення атестації робочих місць [28].

Атестація робочих місць за умовами праці проводиться згідно з Порядком проведення атестації робочих місць за умовами праці, затвердженим постановою Кабінету міністрів України від 01.08.92 №442 (зі змінами) та Методичними рекомендаціями, затвердженими постановою Мінпраці України від 1.09.92 р. №41 та Головним державним санітарним лікарем України 1.09.92р. [28].

Рівні напруженості електромагнітних полів на робочих місцях повинні контролюватись і відповідати вимогам ДСН 239-96 "Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань".

Основними видами засобів колективного захисту від впливу електричного поля струмів промислової частоти є екрануючі пристрої - складова частина електричної установки, призначена для захисту персоналу у відкритих розподільних пристроях та на повітряних лініях електропередачі.

Екрануючий пристрій необхідно при огляді обладнання і при оперативному перемиканні, спостереженні за виробництвом робіт. Конструктивно екрануючі пристрої оформляються у вигляді козирків, навісів або перегородок з металевих канатів, прутків, сіток.

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переносні екрани також використовуються при роботах з обслуговування електроустановок у вигляді знімних козирків, навісів, перегородок, наметів і щитів.

Екрануючі пристрої повинні мати антикорозійне покриття і бути заземлені.

Джерелами електромагнітних полів радіочастот є:

– в діапазоні 60 кГц - 3 МГц - неекрановані елементи обладнання для індукційної обробки металу (загартування, отжиг, плавка, пайка, зварювання і т. д.) та інших матеріалів, а також обладнання і приладів, застосовуваних у радіозв'язку і радіомовлення;

– в діапазоні 3 МГц - 300 МГц - неекрановані елементи обладнання і приладів, застосовуваних у радіозв'язку, радіомовлення, телебачення, медицині, а також обладнання для нагрівання діелектриків (зварювання пластикатов, нагрів пластмас, склеювання дерев'яних виробів та ін);

– у діапазоні 300 МГц - 300 ГГц - неекрановані елементи обладнання та приладів, що застосовуються в радіолокації, радіоастрономії, радіоспектроскопії, фізіотерапії і т. п. Тривалий вплив радіохвиль на різні системи організму людини за наслідками мають різноманітні прояви.

Найбільш характерними при дії радіохвиль всіх діапазонів є відхилення від нормального стану центральної нервової системи та серцево-судинної системи людини. Суб'єктивні відчуття опромінюваної персоналу - частий головний біль, сонливість або загальна безсоння, стомлюваність, слабкість, підвищена пітливість, зниження пам'яті, неуважність, запаморочення, потемніння в очах, безпричинне відчуття тривоги, страху та ін

Для забезпечення безпеки робіт з джерелами електромагнітних хвиль проводиться систематичний контроль фактичних нормованих параметрів на робочих місцях і в місцях можливого знаходження персоналу. Контроль здійснюється шляхом вимірювання напруженості електричного і магнітного

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

полів, а також вимірюванням густини потоку енергії за затвердженими методиками.

Захист персоналу від впливу радіохвиль застосовується при всіх видах робіт, якщо умови роботи не відповідають вимогам норм. Цей захист здійснюється наступними способами і засобами:

- застосуванням узгоджених навантажень і поглиначів потужності, що знижують напруженість і щільність потоку енергії електромагнітних хвиль;
- екранування робочого місця і джерела випромінювання;
- раціональним розміщенням обладнання в робочому приміщенні;
- підбором раціональних режимів роботи обладнання і режиму праці персоналу;

– застосуванням засобів попереджувальної захисту. Ефективним засобом захисту від впливу електромагнітних випромінювань є екранування джерел випромінювання і робочого місця за допомогою екранів, поглинають або відбивають електромагнітну енергію. Відображають екрани використовують в основному для захисту від паразитних випромінювань - витоків з ланцюгів в лініях передачі надвисокочастотних (НВЧ) хвиль, з катодних виводів магнетронів і ін. В інших випадках, як правило, застосовуються поглинаючі екрани.

Для виготовлення відбиваючих екранів використовуються матеріали з високою електропровідністю, наприклад метали (у вигляді суцільних стінок) або бавовняні тканини з металевою основою. Суцільні металеві екрани найбільш ефективні і вже при товщині 0,01 мм забезпечують ослаблення електромагнітного поля приблизно на 50 дБ (100 000 разів).

Для виготовлення поглинаючих екранів застосовуються матеріали з поганою електропровідністю. Поглинаючі екрани виготовляються у вигляді пресованих листів гуми спеціального складу з конічними суцільними або порожнистими шипами, а також у вигляді пластин з пористої гуми, наповненої

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

карбонільним залізом, з впресованою металевою сіткою. Ці матеріали приклеюються на каркас або на поверхню випромінюючого устаткування.

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

## ВИСНОВКИ

Тепловізори мають величезне значення в даний час, і мають широкий спектр застосування в багатьох прикладних задачах.

Під час виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було розроблено комп'ютеризовану систему моніторингу теплових полів технічних об'єктів, що призначена для створення тепловізійного зображення шляхом сканування поверхні технічного об'єкта безконтактним ІЧ- термометром. Виконавчими механізмами для сканування є два сервоприводи, які рухають ІЧ- термометром зліва на право, зверху вниз разом із лазером який показує точку сканування. Теплове зображення виводиться в додатку разом із зображенням з WEB- камери, що доповнює його і частково компенсує низьку роздільну здатність зображення теплового поля.

У першому розділі проводиться аналіз технічного завдання, та складаються вимоги до комп'ютеризованої системи моніторингу теплових полів технічних об'єктів та аналіз можливих рішень.

В другому розділі описується процес проектування та реалізації проекту, як комп'ютеризованої системи моніторингу теплових полів технічних об'єктів. Приводиться розробка апаратного забезпечення для функціонування системи. Розглядаються бібліотеки та реалізація функцій побудованих на основі них, їх алгоритми.

В третьому розділі проводиться програмна реалізація та тестування комп'ютеризованої системи моніторингу теплових полів технічних об'єктів в реальних умовах експлуатації. Тестування розробленої комп'ютеризованої системи моніторингу теплових полів технічних об'єктів підтвердило її працездатність.

Четвертий розділ описує безпеку життєдіяльності, основи охорони праці.

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Icron Technology Corp.; Options for Extending USB, White Paper, Burnaby; Canada, 2009
2. Schmidgall, T.; Glänzend gelöst – Fehlerdetektion an spiegelnden Oberflächen mit USB 2.0 - Industriekameras, A&D Kompendium 2007/2008, S. 219
3. Trouilleau, C. et al.: High-performance uncooled amorphous silicon TEC less XGA IRFPA with 17  $\mu\text{m}$  pixel-pitch; "Infrared technologies and applications XXXV", Proc. SPIE 7298, 2009
4. VDI/VDE Richtlinie, Technische Temperaturmessungen - Spezifikation von Strahlungsthermometern, Juni 2001, VDI 3511 Blatt 4.1
5. Драгун В.Л. Тепловізійні системи в дослідженні теплових процесів. / М.: Наука, 1967. - 256 с.
6. Кифер И. П., Семеновская И. Б. О связи режимов выявления нарушений сплошности с магнитными характеристиками материала контролируемых деталей. – В кн.; Электромагнитные методы неразрушающего контроля металлов и сплавов. ОНТИ ВИАМ, 1971, с. 109-116.
7. Кріксунов Л.З. Тепловізори. / Київ.: Техніка, 1987.– 287 с.
8. Пасинків В.В., Чиркин Л.К. Напівпровідникові прилади / М.: Вища школа, 1981.- 476 с.
9. Сивухин Д.В. Загальний курс фізики. / М.: фізмат МФТІ, 2002.- 782 с.
10. Темников Ф. Е. Математические развертывающие системы. М. Энергия. 1970.
11. Фаерман Г. П., Получение изображений в далёкой инфракрасной области спектра методом эвапорографии, "Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии", 1963, т. 8, в. 2, с. 153.
12. Gasperi, Michael; Hurbain, Philippe "Chapter 13: I<sup>2</sup>C Bus Communication", *Extreme NXT: Extending the LEGO MINDSTORMS NXT to the Next Level*, (2010), ISBN 9781430224549
13. I<sup>2</sup>C [Електронний ресурс] / Режим доступу:

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

<https://uk.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C> — Назва з титул. екрану.

					КСКРБ 123.183.00.00 ПЗ	Арк.
						71
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Додаток А.

Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

**«Затверджую»**

завідувач кафедри КС

\_\_\_\_\_ Осухівська Г.М.

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2021 р.

Вбудована система контролю вентиляції приміщення

### **ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на \_\_5\_\_ листках

**Вид робіт:**

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Керівник кваліфікаційної роботи

Студент групи СІс-44

\_\_\_\_\_ к.т.н., доц. Тиш Є.В.

\_\_\_\_\_ Бялковський Н.Ф.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Тернопіль 2021



## **1. Назва та підстава для виконання роботи.**

1.1. Комп'ютеризована система для керування витяжною установкою.

1.2. Підставою для виконання кваліфікаційної роботи бакалавра (КРБ) є Наказ по Університету (№ 4/7-97 від 10.02.2021 р.).

## **2. Виконавець.**

2.1. Студент групи СІс-44 кафедри КС

Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя  
Бялковський Назарій Федорович.

## **3. Мета роботи.**

3.1. Метою роботи є розробити структуру та програмне забезпечення комп'ютеризованої системи для керування витяжною установкою.

## **4. Склад виробу.**

4.1. До складу вимірювача повинні входити:

- 1) сенсор температури та вологості;
- 2) сенсор вуглекислого та чадного газів газу;
- 3) сенсор метану;
- 4) сенсор озону;
- 5) сенсор окису азоту;
- 6) інфрачервоний трансмітер;
- 7) LCD екран;
- 8) мікроконтролер або мікропроцесор;
- 9) комплект документації.

## 5. Технічні вимоги.

### 5.1. Вимоги по призначенню.

#### 5.1.1. Вбудована система повинна мати наступні параметри:

- |  |           |
|--|-----------|
| 1) Діапазон вимірюваної температури, не гірше, °C                  | 0...+40   |
| 2) Діапазон вимірюваної відносної вологості, %                     | 10-100    |
| 3) Діапазон вимірюваної концентрації CO <sub>2</sub> , не гірше, % | 0,02...60 |
| 4) Діапазон вимірюваної концентрації CO, не гірше, %               | 0,02...20 |
| 5) Діапазон вимірюваної концентрації CH <sub>4</sub> , не гірше, % | 0,02...20 |
| 6) Діапазон вимірюваної концентрації O <sub>3</sub> , не гірше, %  | 0,02...20 |
| 7) Діапазон вимірюваної концентрації NO <sub>2</sub> , не гірше, % | 0,02...20 |

#### 5.1.2. Система повинна живитись напругою постійного струму, В +12±2

### 5.2. Вимоги до умов експлуатації:

5.2.1. По умовам експлуатації виріб повинен відповідати вимогам ГОСТ 15150 для УХЛ4.1

5.2.2. Температура експлуатації від 0 до +40°C

5.2.3. Відносна вологість до 100% при t=25°C

### 5.3. Конструктивні вимоги.

5.3.1. Конструювання корпусу приладу в КРБ не передбачено.

5.3.2. Для побудови системи мають бути використані сучасні компоненти з можливістю поверхневого монтажу друкованого вузла.

5.3.3. При побудові системи необхідно передбачити розміщення роз'ємів живлення і обміну даними.

5.3.4. Габаритні розміри при макетуванні, мм, не більше:

довжина	800
ширина	600
висота	600

5.3.5. Маса макету, кг, не більше 3

5.3.6. Конструкція макету повинна забезпечувати доступ до всіх комплектуючих виробів при тестуванні.

5.4. Вимоги до надійності.

5.4.1. Система повинна відповідати вимогам ДСТУ 2862-94.

5.4.2. Наробка на відмову, не менше 5000 год.

5.5. Вимоги метрології.

5.5.1. Вимірювання параметрів системи при моделюванні повинно виконуватись на універсальних вимірювальних приладах.

## **6. Економічні показники.**

6.1. Собівартість системи повинна бути не більше 10000 грн.

## **7. Вимоги до документації.**

7.1. Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД, ДСТУ та ГОСТ.

7.2. До складу документації повинно входити:

- 1) ПЗ
- 2) Структурна схема Е1
- 3) Електрична схема Е3
- 4) Схема з'єднань Е4
- 5) Блок схема алгоритму роботи

## 8. Стадії та етапи розробки КРБ

8.1 Стадії та етапи виконання КРБ наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

№	Назва етапу	Строк виконання	
		початок	кінець
1	Технічне завдання	—	до 26.03.21
2	Розділ 1 Аналіз технічного завдання	26.03. 21	10.06. 21
3	Розділ 2 Проектна частина	28.03. 21	10.05. 21
4	Розділ 3 Практична частина	02.04. 21	13.04. 21
5	Розділ 4 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	16.04. 21	27.04. 21
6	Нормоконтроль	21.05. 21	11.06. 21
7	Попередній захист	11.06. 21	18.06.21
8	Захист	з 24.06. 21	—

9. В дане ТЗ можуть вноситись зміни по узгодженню сторін.

Додаток Б  
Перелік елементів

Позн.	Найменування	К-сть	Примітка
	Конденсатори		
C1,C5- C6,C10-C11	0.02mF Murata El.	5	
C2,C7,C12	100nF Murata El.	3	
C3,C8	3.9nF Murata El.	2	
C4,C9	10nF Murata El.	2	
	Світлодіод		
D1	LED-YELLOW	1	
	Розе'м		
J1	502352-0410	1	
	Дроселі		
L1-L2	0.01mH	2	
	Екран LCD		
LCD1	JHD-2X16-I2C	1	
	Транзистор		
Q1	2N3904	1	
<i>КС КРБ 123.16.100.00 ПЕ</i>			
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис
Розробив	Бялковський		
Перевірів	Тиш С.В.		
Рецензент			
Н. контр.			
Зав. каф.	Осухівська Г.		
Комп'ютеризована система для керування витяжною установкою			
Перелік елементів			
		Літ	Аркуш
		н	1
		Аркушів	2
		ТНТУ СІс-44 м. Тернопіль	



<i>Позн.</i>	<i>Найменування</i>	<i>К-сть</i>	<i>Примітка</i>
	<i>Блоки і модулі</i>		
<i>A1</i>	<i>Плата комутації датчиків</i>	<i>1</i>	
<i>A2</i>	<i>Плата Arduino Uno</i>	<i>1</i>	
<i>A3</i>	<i>Екран LCD</i>	<i>1</i>	
<i>A4</i>	<i>Трансивер IRDA</i>	<i>1</i>	

					<i>КС КРБ 123.16.100.01 ПЕ</i>				
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>					
<i>Розробив</i>	<i>Бялковський</i>				<i>Комп'ютеризована система для керування витяжною установкою Перелік елементів</i>		<i>Лім</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>	<i>Тили С.В.</i>						<i>н</i>		<i>1</i>
<i>Рецензент</i>							<i>ТНТУ СІс-44 м. Тернопіль</i>		
<i>Н. контр.</i>									
<i>Зав. каф.</i>	<i>Осухівська Г.</i>								

## Додаток В.

### Код програми тепловізора для Arduino Uno

```
#include <Servo.h>
#include <i2cmaster.h>
#include <EEPROM.h>

//Don't change those values
char st1[30];
long int count = 0;
int mlr;
int mud;
int blr;
int bud;
int lines = 48;
int rows = 64;
char c = 0;

Servo lr; //Servo for left-right movement
Servo ud; //Servo for up-down movement
//Adjust those values if necessary
int lrpin = 9; //Left-Right Servo Pin
int udpin = 8; //Up-Down Servo Pin

void setup(){
  Serial.begin(115200); //BaudRate for Serial Communication
  mlr = EEPROM.read(0)*10; //Read existing calibration from
the EEPROM
  mud = EEPROM.read(1)*10;
  if(mlr == 0 || mud == 0){
    mlr = 1275; //Middle point for LR Servo; only used if
there is no existing calibration
    mud = 1750; //Middle point for UD Servo; only used if
there is no existing calibration
  }
  blr = EEPROM.read(2)*10;
  bud = EEPROM.read(3)*10;
  if(blr == 0 || bud == 0){
    blr = 1600; //Left-Bottom point for LR Servo; only used
if there is no existing calibration
    bud = 1550; //Left-Bottom point for UD Servo; only used
if there is no existing calibration
  }

  PORTC = (1 << PORTC4) | (1 << PORTC5); //Enabling Pull-Ups
for the MLX90614

  ud.attach(udpin); //Attach servos
  lr.attach(lrpin);

  ud.writeMicroseconds(mud); //Move servos to middle position
  lr.writeMicroseconds(mlr);
```



```

}

void loop(){
if( Serial.available() > 0 )
{
    c = Serial.read();
    switch( c )
    {
        case 'a':
            measure();
            break;
        case 'b':
            middleleft();
            break;
        case 'c':
            middleright();
            break;
        case 'd':
            middleup();
            break;
        case 'e':
            middledown();
            break;
        case 'f':
            middlesave();
            break;
        case 'g':
            bottomleft();
            break;
        case 'h':
            bottomright();
            break;
        case 'i':
            bottomup();
            break;
        case 'j':
            bottomdown();
            break;
        case 'k':
            bottomssave();
            break;
        case 'l':
            gotomiddle();
            break;
        case 'm':
            gotobottom();
            break;
        case 'n':
            res1();
            break;
        case 'o':
            res2();
            break;
        case 'p':

```

```

        res3();
        break;
        case 'q':
            res4();
        case 'r':
            livetemp();
        break;
    }
}

void middleleft(){ //move middle pos left
    mlr += 10;
    lr.writeMicroseconds(mlr);
    ud.writeMicroseconds(mud);
}
void middleright(){ //move middle pos right
    mlr -= 10;
    lr.writeMicroseconds(mlr);
    ud.writeMicroseconds(mud);
}
void middleup(){ // move middle pos up
    mud += 10;
    ud.writeMicroseconds(mud);
    lr.writeMicroseconds(mlr);
}
void middledown(){ //move middle pos down
    mud -= 10;
    ud.writeMicroseconds(mud);
    lr.writeMicroseconds(mlr);
}
void middlesave(){ //save middle pos to EEPROM
    EEPROM.write(0,(mlr*0.1));
    EEPROM.write(1,(mud*0.1));
}
void bottomleft(){ //move bottom-left pos left
    blr += 10;
    lr.writeMicroseconds(blr);
    ud.writeMicroseconds(bud);
}
void bottomright(){ //move bottom-left pos right
    blr -= 10;
    lr.writeMicroseconds(blr);
    ud.writeMicroseconds(bud);
}
void bottomup(){ //move bottom-left pos up
    bud += 10;
    ud.writeMicroseconds(bud);
    lr.writeMicroseconds(blr);
}
void bottomdown(){ //move bottom-left pos down
    bud -= 10;
    ud.writeMicroseconds(bud);
    lr.writeMicroseconds(blr);
}

```

```

}
void bottomsaver(){ //save bottom-left pos to EEPROM
  EEPROM.write(2,(blr*0.1));
  EEPROM.write(3,(bud*0.1));
}
void gotomiddle(){ //go to middle pos
  ud.writeMicroseconds(mud);
  lr.writeMicroseconds(mlr);
}
void gotobottom(){ //go to bottom-left pos
  ud.writeMicroseconds(bud);
  lr.writeMicroseconds(blr);
}
void res1(){ //set resolution to 64x48
  rows = 64;
  lines = 48;
}
void res2(){ //set resolution to 48x36
  rows = 48;
  lines = 36;
}
void res3(){ //set resolution to 32x24
  rows = 32;
  lines = 24;
}
void res4(){ //set resolution to 16x12
  rows = 16;
  lines = 12;
}

void livetemp(){
  while(true){
    long int tpl;
    char strcount[5];
    itoa (count, strcount, 10);
    tpl = readMLXtemperature(0); // read sensor object
temperature
    tpl = tpl *10;
    tpl = tpl / 5;
    tpl=tpl-27315;
    char str1[5];
    strcpy (str1, "");
    char str2[10] = "%li.%li";
    strcat (str1, str2);
    sprintf(st1,str1, tpl/100, abs(tpl %100) );
    Serial.print(st1);
    delay(200);
  }
}

void measure(){
  int ypos = bud;
  ud.writeMicroseconds(ypos);
  int xpos = blr;

```

```

lr.writeMicroseconds(xpos);
delay(50);
readMLXtemperature(0);
delay(50);
for(int x=0;x<rows;x++){
    for(int y=0;y<lines;y++){
        temperatur(); //measure temperature at the
specific point
        if(y != lines-1){
            ypos += (int) ((mud-bud)*2)/(lines-1);
            ud.writeMicroseconds(ypos);
        }
        delay(50);
    }
    for(int i=0;i<(lines+1);i++){
        ypos -= (int) ((mud-bud)*2)/(lines-1);
        ud.writeMicroseconds(ypos);
        delay(5);
    }
    if(x != rows-1){
        xpos -= (int) ((blr-mlr)*2)/(rows-1);
        lr.writeMicroseconds(xpos);
    }
    readMLXtemperature(0);
    ypos += (int) ((mud-bud)*2)/(lines-1);
    delay(50);
    readMLXtemperature(0);
    ypos += (int) ((mud-bud)*2)/(lines-1);
    delay(50);
}
finish();
}

```

```

//do not change
long int readMLXtemperature(int TaTo) {
    long int lii;
    int dlsb,dmsb,pec;
    int dev = 0x5A<<1;
    i2c_init();
    i2c_start_wait(dev+I2C_WRITE);
    if (TaTo) i2c_write(0x06); else i2c_write(0x07);
    i2c_rep_start(dev+I2C_READ);
    dlsb = i2c_readAck();
    dmsb = i2c_readAck();
    pec = i2c_readNak();
    i2c_stop();
    lii=dmsb*0x100+dlsb;
    return(lii);
}

```

```

//do not change
int getAmbientTemp(){
    long int tpl;
    tpl=readMLXtemperature(1);
}

```

```

    tpl = tpl *10;
    tpl = tpl / 5;
    tpl=tpl-27315;
    return(tpl/100);
}

void temperatur(){
    count++;
    long int tpl;
    char strcount[5];
    itoa (count, strcount, 10);
    tpl = readMLXtemperature(0); // read sensor object
temperature
    tpl = tpl *10;
    tpl = tpl / 5;
    tpl=tpl-27315;
    //Serial communication
    if(count < 10){
        char str1[5];
        strcpy (str1, "000");
        strcat (str1, strcount);
        char str2[10] = "%03li.%li";
        strcat (str1, str2);
        sprintf(st1,str1, tpl/100, abs(tpl %100) );
    }
    else if((count >= 10) && (count < 100)){
        char str1[5];
        strcpy (str1, "00");
        strcat (str1, strcount);
        char str2[10] = "%03li.%li";
        strcat (str1, str2);
        sprintf(st1,str1, tpl/100, abs(tpl %100) );
    }
    else if((count >= 100) && (count < 1000)){
        char str1[5];
        strcpy (str1, "0");
        strcat (str1, strcount);
        char str2[10] = "%03li.%li";
        strcat (str1, str2);
        sprintf(st1,str1, tpl/100, abs(tpl %100) );
    }
    else if(count >= 1000){
        char str1[5];
        strcpy (str1, "");
        strcat (str1, strcount);
        char str2[10] = "%03li.%li";
        strcat (str1, str2);
        sprintf(st1,str1, tpl/100, abs(tpl %100) );
    }
    Serial.print(st1); //sent the temperature to the pc
software
}

```

```
void finish(){
  char roomtemp[3];
  itoa (getAmbientTemp(), roomtemp, 10);
  char roomoutput[4] = "r";
  strcat (roomoutput, roomtemp);
  Serial.print(roomoutput); //send the room temperature to
the pc software
  delay(50);
  Serial.print("Stop");
  ud.writeMicroseconds(mud);
  lr.writeMicroseconds(mlr);
}
```

## Додаток Г

### Скрипт для конфігурування датчика температури MLX90614

```
#include <i2cmaster.h>

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("This program will change the EEPROM settings of");
  Serial.println("your MLX90614-DCI sensor to work best with the");
  Serial.println("Cheap-Thermocam. Please make sure you only use");
  Serial.println("this with the DCI version, otherwise you will");
  Serial.println("destroy your sensor ! PRESS ANY KEY TO CONTINUE");
  Serial.println("");
  Serial.println("Created by Max Ritter - www.cheap-thermocam.tk");
  Serial.println("");
  while (Serial.available() == 0) {
  }
  Serial.println("-----Let's begin!-----");
  Serial.println("");
  i2c_init();
  PORTC = (1 << PORTC4) | (1 << PORTC5);

  int dev = 0x00;
  unsigned int data_l = 0;
  unsigned int data_h = 0;
  int pec = 0;
  unsigned int data_t = 0;
  boolean check = true;

  //WRITE TO EEPROM, FIRST: ERASE OLD STUFF
  Serial.println("*1: Erasing old EEPROM settings");
  Serial.println("");
  Serial.println("Erasing filter settings..");
  i2c_start_wait(dev+I2C_WRITE);
  i2c_write(0x25);
  i2c_write(0x00); //Erase low byte (write 0)
  i2c_write(0x00); //Erase high byte (write 0)
  i2c_write(0x83); //Send PEC
  //For PEC Calculation have a look at :
http://smbus.org/faq/crc8Applet.htm
  //In this case the PEC calculates from 250000 (=0x83)
  i2c_stop();
  delay(5000);

  Serial.println("Erasing maximum temperature setting..");
  i2c_start_wait(dev+I2C_WRITE);
  i2c_write(0x20);
  i2c_write(0x00);
  i2c_write(0x00);
  i2c_write(0x43);
  i2c_stop();
```

```

delay(5000);

Serial.println("Erasing minimum temperature setting..");
i2c_start_wait(dev+I2C_WRITE);
i2c_write(0x21);
i2c_write(0x00);
i2c_write(0x00);
i2c_write(0x28);
i2c_stop();
delay(5000);

//WRITE TO EEPROM, THE NEW STUFF!
Serial.println("");
Serial.println("*2: Write new settings to EEPROM");
Serial.println("");
Serial.println("Writing new filter settings..");
i2c_start_wait(dev+I2C_WRITE);
i2c_write(0x25); //Register Address to write to
i2c_write(0x74); //New filter settings (B374)
i2c_write(0xB3);
i2c_write(0x65); //Send PEC
i2c_stop();
delay(5000);

Serial.println("Writing new maximum temperature setting..");
i2c_start_wait(dev+I2C_WRITE);
i2c_write(0x20);
i2c_write(0xFF);
i2c_write(0xFF);
i2c_write(0x67);
i2c_stop();
delay(5000);

Serial.println("Writing new minimum temperature setting..");
i2c_start_wait(dev+I2C_WRITE);
i2c_write(0x21);
i2c_write(0x5B);
i2c_write(0x4F);
i2c_write(0x59);
i2c_stop();
delay(5000);

//CHECKING IF EVERYTHING IS OK
Serial.println("");
Serial.println("*3: Validating the new settings");
Serial.println("");

Serial.println("Checking filter settings..");
i2c_start_wait(dev+I2C_WRITE);
i2c_write(0x25);
i2c_rep_start(dev+I2C_READ);
data_l = i2c_readAck();
data_h = i2c_readAck();
pec = i2c_readNak();

```



```

i2c_stop();
data_t = (((data_h) << 8) + data_l);
if(data_t != 45940){
    check = false;
}
delay(5000);

Serial.println("Checking maximum temperature setting..");
i2c_start_wait(dev+I2C_WRITE);
i2c_write(0x20);
i2c_rep_start(dev+I2C_READ);
data_l = i2c_readAck();
data_h = i2c_readAck();
pec = i2c_readNak();
i2c_stop();
data_t = (((data_h) << 8) + data_l);
if(data_t != 65535){
    check = false;
}
delay(5000);

Serial.println("Checking minimum temperature setting..");
i2c_start_wait(dev+I2C_WRITE);
i2c_write(0x21);
i2c_rep_start(dev+I2C_READ);
data_l = i2c_readAck();
data_h = i2c_readAck();
pec = i2c_readNak();
i2c_stop();
data_t = (((data_h) << 8) + data_l);
if(data_t != 20315){
    check = false;
}
delay(5000);

Serial.println("");
if(check == true){
Serial.println("-----Finish!-----");
}
else{
Serial.println("ERROR ! Not all settings could be written !");
Serial.println("Re-run this sketch or check the connections !");
}
}
void loop()
{
}

```