

Галицький коледж імені В'ячеслава Чорновола
відділення комп'ютерних та видавничих технологій
циклова комісія інформатики та комп'ютерних дисциплін

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач відділенням
комп'ютерних та видавничих
технологій

Чубей О.О. /_____/

підпис

«__» _____ 2020 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту
освітньо-кваліфікаційного рівня «молодший спеціаліст»
зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки та інформаційні технології»
на тему: «Тепловий сканер для визначення тепловтратних зон у будівлі»

Студент групи К-47

Баранюк В.В.

(підпис)

Керівник проекту

Павлюс В.П.

(підпис)

Консультанти:

з техніко-економічного
обґрунтування

Меленчук Л.І.

(підпис)

нормоконтролер

Кульчинська Н. З.

(підпис)

Тернопіль – 2020

Галицький коледж імені В'ячеслава Чорновола
відділення комп'ютерних та видавничих технологій
циклова комісія інформатики та комп'ютерних дисциплін

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач відділенням
комп'ютерних та видавничих
технологій

Чубей О.О. / _____ /

підпис

« ____ » _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломне проєктування
на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «молодший спеціаліст»

студенту _____
(прізвище, ім'я та по-батькові студента)

1. Тема проєкту _____

затверджена наказом по коледжу від “ ____ ” _____ 2019 р., № ____

2. Термін здачі студентом завершеного проєкту “ ____ ” _____ 2020 р.

3. Вихідні дані до проєкту _____

4. Перелік питань, які повинні бути розроблені в проєкті:

а) основна частина _____

б) техніко-економічного обґрунтування _____

5. Перелік графічного матеріалу _____

6. Консультанти проєкту: _____

Розділ	Консультанти	Підпис, дата	
		Завдання видано	Завдання прийнято
з техніко-економічного обґрунтування	_____ (вчена ступень, звання П.І.Б. консультанта)		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН дипломного проєктування

№ п/п	Найменування етапу	Терміни	
		початку	завершення
1.	Вибір теми, ознайомлення з вимогами до дипломного проєктування.	4.11.19 р.	18.12.19 р.
2.	Огляд типових рішень та написання відповідного розділу ПЗ	20.12.19 р.	26.01.20 р.
3.	Дослідження технологій реалізації та написання відповідного розділу ПЗ	02.02.20 р.	25.02.20 р.
4.	Розробка функціональних вимог до проєкту та робота над структурою програмного продукту. Написання відповідного розділу ПЗ	04.03.20 р.	15.03.20 р.
5.	Встановлення на налаштування середовища реалізації та написання відповідного розділу ПЗ	18.03.20 р.	25.03.20 р.
6.	Проектування програмного засобу (функціоналу, інтерфейсу, бази даних продукту) та написання відповідного розділу ПЗ	28.03.20 р.	12.04.20 р.
7.	Реалізація та налаштування програмного засобу та написання відповідного розділу ПЗ	12.04.20 р.	03.05.20 р.
8.	Доопрацювання модулів	05.05.20 р.	18.05.20 р.
9.	Тестування на налагодження програмного продукту та написання відповідного розділу ПЗ	18.05.20 р.	01.06.20 р.
10.	Опрацювання економічного розділу дипломного проєкту та оформлення спеціального розділу	02.06.20 р.	07.06.20 р.
11.	Робота над оформленням пояснювальної записки	07.06.20 р.	18.06.20 р.
12.	Попередній захист дипломного проєкту, доопрацювання	18.06.20 р.	22.06.20 р.
13.	Підготовка до захисту дипломного проєкту	22.06.20 р.	26.06.20 р.
14.	Захист дипломного проєкту	26.06.20 р.	26.06.20 р.

7. Дата видачі завдання “___” _____ 2019 р.

Керівник _____ /

Завдання прийняв до виконання _____ /

Реферат

Дипломний проєкт. Тема: «Тепловий сканер для визначення тепловтратних зон у будівлі». 59 сторінок, 36 рисунків, 2 таблиці, 8 джерел, 2 додатки, 2 блок-схеми.

Об'єктом дослідження для подальшої розробки дипломного проєкту стала система «розумний» будинок.

Мета проєкту – розробка приладу для визначення тепловтратних зон у будівлі. Такий пристрій вже існує на ринку, але вдосконаливши його проєкт приверне до себе більше уваги.

Завданням проєкту є розробка власного теплового сканера для визначення тепловтратних зон у будівлі.

Результат – тепловий сканер, яким можна зручно та легко виначати тепловтратні зони.

Для реалізації пристрою було обрано інфрачервоний модуль MLX90640 із теплодатчиком для вимірювання температури. Для кріплення всіх модулів було обрано плату TTGO T4 V1.3 на якій міститься дисплей для відображення термограми та мікроконтролер ESP32, на якому була реалізована вся логіка за допомогою середовища розробки Arduino IDE. Програмування відбувається за допомогою мови програмування C/C++.

ARDUINO, TTGO T4, ESP32, СКАНЕР, ТЕПЛО, ТЕПЛОВИЙ СКАНЕР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВТРАТНИХ ЗОН, ТЕМПЕРАТУРА, MLX90640, РОЗУМНИЙ БУДИНОК, ІНФРАЧЕРВОНИЙ.

Abstract

Diploma project. Topic: “Thermal scanner to determine heat loss zones in the building”. 59 pages, 36 figures, 2 tables, 8 sources, 2 applications, 2 diagrams.

The object of research for further development of the diploma project was the «smart» house system.

The purpose of the project is the development a device for determining heat loss zones in the building. Such a device already exists on the market, but by improving its design will attract more attention.

The main task of the project is to develop its own thermal scanner to determine heat loss zones in the building.

The result is a thermal scanner that can conveniently and easily detect heat loss zones.

The MLX90640 infrared module with a heat sensor for temperature measurement was chosen for the implementation of the device. To mount all the modules, a TTGO T4 V1.3 board was selected, which contains a display for displaying a thermogram and an ESP32 microcontroller, on which all the logic was implemented using the Arduino IDE development environment. Programming is done using the C / C ++ programming language.

ARDUINO, TTGO T4, ESP32, SCANNER, HEAT, THERMAL SCANNER TO DETERMINE HEAT LOSS ZONES, TEMPERATURE, MLX90640, SMART HOME, INFRARED.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Аналіз існуючих рішень та постановка завдання	8
1.1 Обґрунтування доцільності створення тепловізійного сканера	8
1.2 Огляд існуючих рішень	10
1.3 Постановка задачі	14
2 Проєктування інфрачервоного сканера.....	15
2.1 Формалізація вимог до тепловізійного сканера	15
2.2 Проєктування структури пристрою	15
2.3 Алгоритм функціонування пристрою.....	21
3 Реалізація та тестування системи	22
3.1 Вибір засобів реалізації теплового сканера.....	22
3.3 Реалізація електричної схеми пристрою	33
3.4 Реалізація програмного забезпечення теплового сканера	35
3.5 Тестування програмного забезпечення теплового сканера	41
4 Техніко-економічне обґрунтування.....	44
4.1 Аналіз ринку	44
4.2 Розрахунок витрат на проєктування	46
4.3 Обґрунтування необхідності розробки.....	47
Висновки	49
Перелік джерел посилання.....	50
Додатки	51

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Баранюк В.В.				Тепловий сканер для визначення тепловтратних зон у будівлі	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.	Павлюс В.П.						5	59
Реценз..	Посвятовська О.Б.					ГК. ВКВТ К-47		
Н.контр.	Кульчинська Н.З.							
Зав. відділ.	Чубей О.О.							

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ІЧ – інфрачервона

Wi-Fi – Wireless Fidelity

РД – рідкокристалічний дисплей

ПК – персональний комп'ютер

USB – Universal Serial Bus

RST – Reset

GND – Ground

RGB – red, green, blue

IDE – Integrated Development Environment

ESP – Electronic Stability Program

SPI – Serial Peripheral Interface

UART – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

SDIO – Secure digital input/output

GPIO – General-purpose input/output

RTC – Real Time Clock

HEX – Hexadecimal

DEC – Decimal

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Сьогодні технології рухаються з великою швидкістю, тому і людству потрібно йти в ногу з ними. Для чого собі відмовляти в чомусь, якщо це вже придумано та готове до використання. Практично в будь-якій галузі знайдеться якась інновація, передова технологія чи щось незвичайне, що згодилося б людям в тій чи іншій ситуації.

Велику роль в деяких галузях відіграють тепловізійні технології. Тепловізори є ключовою спроможністю у сферах національної оборони, громадської безпеки та пожежогасіння і забезпечує діагностичні можливості для комунальних підприємств, будівництва та інспекції. Можливість створення зображення на основі різниці тепла дозволяє користувачам бачити в повній темряві і знати температуру всіх об'єктів навкруги.

Археологи користуються інфрачервоними камерами на місцях розкопок. Інженери використовують їх для пошуку структурних недоліків. Лікарі та медичні працівники можуть визначити та діагностувати проблеми в організмі людини. Комунальні працівники виявляють потенційні проблеми в електромережі або знаходять витoki у водо- або газопроводах. Астрономи використовують інфрачервоні технології для дослідження глибин космосу. Вчені використовують їх для широкого спектру експериментальних цілей.

Для всіх цих завдань існують різні типи тепловізійних пристроїв, але всі вони ґрунтуються на одних і тих самих принципах роботи.

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Обґрунтування доцільності створення тепловізійного сканера

Людство дуже швидко забудовує нові ділянки під різного призначення будівлі. На їх утримання потрібно багато ресурсів, тому важливо заздалегідь вибрати правильний матеріал для будівлі для того щоб він міг утримувати тепло всередині чи навпаки не впускати холодне повітря зовні.

Популярність тепловізори здобули завдяки можливості застосування у всіх галузях життєдіяльності людини. Найпопулярніші сфери застосування це будівництво, полювання, медицина і промисловість. Все частіше тепловізори використовуються і в побуті для обстеження квартир і приватних будинків, вони дозволяють знаходити місця витоків тепла і неполадки в електриці. Принцип роботи тепловізора заснований на реєстрації і аналізі температур поверхні об'єктів. У кожного з матеріалів своя інфрачервона випромінююча здатність. Нерівномірність нагріву однієї і тієї ж поверхні дозволяє формувати картину розподілу температури на ній, асоціюючи колір на дисплеї з температурою. При цьому температурна роздільна здатність складає величину 0,05-0,1 градуса [2].

Також у тепловізорів більша рентабельність – це дуже доступний варіант для багатьох підприємств, які хочуть забезпечити найкраще рішення щодо безпеки та захисту на ринку сьогодні. Загальна вартість власності на охоронну систему з тепловізійними камерами, як правило, значно нижча, ніж система безпеки відеоспостереження. Наприклад, завдяки їх неймовірній продуктивності в проєктах потрібно менше камер тепловізора, ніж потрібно для використання видимих камер. Крім того, більшість камер не можуть бачити більше 200 метрів вночі і потребують додаткового освітлення, що може бути дуже дорогим для установки та обслуговування.

Тепловізуалізація використовується у дуже різний спосіб. Наприклад, фермери використовують тепловізори для ряду різних застосувань. Зокрема, при заготівлі цукрових буряків зібраний урожай збирають в декілька великих пірамід перед їх обробкою. За тепловими зображеннями визначається, яка є найгарячішою,

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

іншими словами, яка купка зіпсується спочатку, тому обробляють спочатку найгарячіші частини, збільшуючи річний урожай.

Термограми широко застосовується при механічному огляді. Якщо два двигуни працюють з однаковою швидкістю та навантаженням, вони повинні виглядати схоже на тепловій камері. Відмінності викидів тепла сигналізують про ранні стадії помилки в роботі одного з двигунів.

В процесі тепловізійної діагностики, а також при виконанні енергоаудиту, за допомогою тепловізора виявляють місця з відхиленням температур, тобто найчастіше використовують прилад в якості індикатора. Більшість тепловізорів можуть не тільки отримувати тепловізійні зображення об'єктів, а й визначати поверхневу температуру в окремих точках.

Будівельна галузь теж часто використовує тепловізійні зображення. Коли створюється велика різниця температур всередині конструкції та ззовні, можуть виявити проблеми із ізоляцією та кондиціонером, електричні проблеми та точно визначити втрати енергії.

Сьогодні є багато матеріалів які здатні надійно утримувати тепло, але потрібно перевірити це з точки зору тепловтрат. Тепловізори сканують стіни будівлі в реальному часі та одразу відображають проблемні зони які варто утеплити чи відремонтувати. Вони відстежують температурні показники та відображають їх на контрольних панелях чи окремих девайсах.

Теплові технології візуалізації стали одними з найцінніших інструментів діагностики в будівельній галузі. Тепловізор може визначити проблеми на ранній стадії, що дозволяє їх задокументувати та виправити, перш ніж вони стануть більш серйозними і дорожчими в ремонті.

Обстеження діагностики будівлі за допомогою тепловізійної камери може допомогти:

- візуалізувати втрати енергії;
- виявити відсутність або несправність ізоляції;
- джерело витоку повітря;
- знайти вологу в ізоляції, на дахах і стінах, як у всередині, так і ззовні

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приміщення;

- виявити цвіль і погано утеплені ділянки;
- виявити порушення в трубах для гарячої води;
- знайти несправності в лініях живлення та централізованого опалення;
- виявити електричні несправності [3].

Також, особливо доцільно це буде для людей в яких є домівки часів радянського союзу і вони витрачають багато ресурсів на опалення. Тоді їм варто подумати про утеплення стін чи їх ремонт, а тепловізор покаже де власне потрібно це зробити.

Поява тепловізорів у поєднанні з іншими системами пов'язаними з будівництвом набагато спрощує роботу та автоматизує систему. Її можна налаштувати на самостійне сканування та через деякий час вам на панель прийдуть всі показники про температуру та тепловтратні зони в будівлі.

1.2 Огляд існуючих рішень

Розглянемо біноккулярні тепловізори провідних компаній в цій галузі – «FLIR» і «Archer». Вони випускають продукти «FLIR E95» та «Archer TGX-V8» відповідно. Основними характеристиками для тепловізора є: частота оновлення кадрів, роздільна здатність матриці і кут огляду. Матриця безпосередньо впливає на точність, об'ємність та інформативність картинки, тому важливим параметром є її роздільна здатність.

E95 – це нова тепловізійна камера для застосувань, починаючи від інспекції промисловості та обслуговування установок, до огляду будинку, енергетичного аудиту та тестування конвертів будівель. У портативної камери FLIR E95 є 4-дюймовий сенсорний екран з кутом огляду 160°, що допомагає стежити за тепловим зображенням під час роботи. Незаперечною перевагою тепловізійного пристрою є лазерний вказівник, режим автофокусу і сучасна технологія FLIR MSX. З її допомогою ефективно розширення пристрою буде збільшено в чотири рази. Завдяки інфрачервоному діапазону високої роздільної здатності 464*348, широкому діапазону температур, що охоплює від -20°C до 1500°C, він допомагає

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

легко оцінити потенційні проблеми в будь-якому середовищі.

З огляду на всі перераховані вище характеристики, користувачі матимуть можливість достовірно фіксувати будівельні неполадки і гарячі ділянки завчасно. Це призведе до того, що можна буде в подальшому уникнути незапланованого ремонту і значних грошових витрат.

До переваг цієї моделі можна віднести 5-мегапіксельну камеру. Завдяки їй зроблені теплові знімки є ще більш точними.

Головною перевагою тепловізорів FLIR E95 є наявність спеціального модуля AWRc (Advanced Wireless Remote Control), що дозволяє здійснювати пошукову роботу на місцевості з використанням дистанційного керування. Користувач має змогу керувати тепловізором віддалено. Вони були виготовлені, в основному, для державних служб безпеки чи підприємств, які можуть собі це дозволити. Тепловізор «FLIR» зображений на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Тепловізор «FLIR»

Наступний тепловізор для будівництва – «Xintest HT-18» (рисунок 1.2). У нього є функція ручного налаштування колірної палітри, а також висока

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температурна чутливість. Термограма оновлюється 8 раз в секунду, тому миттєві зміни в розподілі температур по площі відразу помітні.

Крім теплової карти, одночасно показуються наступні показники: Температура в центрі, найгарячіша і найхолодніша області, індикатор заряду, обрана колірна палітра [4].

Тепловізор НТ-18 відноситься до триточкових пристроїв і в реальному часу не тільки фокусує курсор на центральній точці, а й в найбільш холодному і гарячому місці і розраховує три відповідних цифрових значення температури.

Відразу після включення і відкидання захисного ковпачка, портативний графічний тепловізор починає відображати теплову карту. Щоб зафіксувати термограму, досить натиснути на курок і підтвердити збереження фото в пам'яті. У цій моделі фото зберігаються не на карті пам'яті, а передаються по USB-кабелю, що входить в комплект.



Рисунок 1.2 – Тепловізор «Xintest НТ-18»

Термографічна камера визначається як зовнішній накопичувач. У комп'ютері фото можна обробити, направити замовнику і, взагалі, використовувати як

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

маркетинговий інструмент.

Підстроювання коефіцієнта емісії знадобиться, якщо доводиться працювати з різномірними матеріалами з різною відбивною здатністю.

Можна налаштовувати вручну:

- інтенсивність дисплея: висока, середня, низька;
- час автоматичного відключення;
- дату (рік, місяць, час).

Перевагою є те, що підзарядку можна проводити не тільки від будь-якого пристрою з виходом USB-мережевої зарядки або від ноутбука, але і від Powerbank. Це забезпечує розширену автономність, якщо, наприклад, тепловізор використовується на будівельних об'єктах, де ще не підключено електромережу.

У приладі є 5 різних кольорних палітр і режим «картинка в картинці», коли теплове зображення накладається на видиме, що полегшує ідентифікацію елементів, які перегріваються [5].

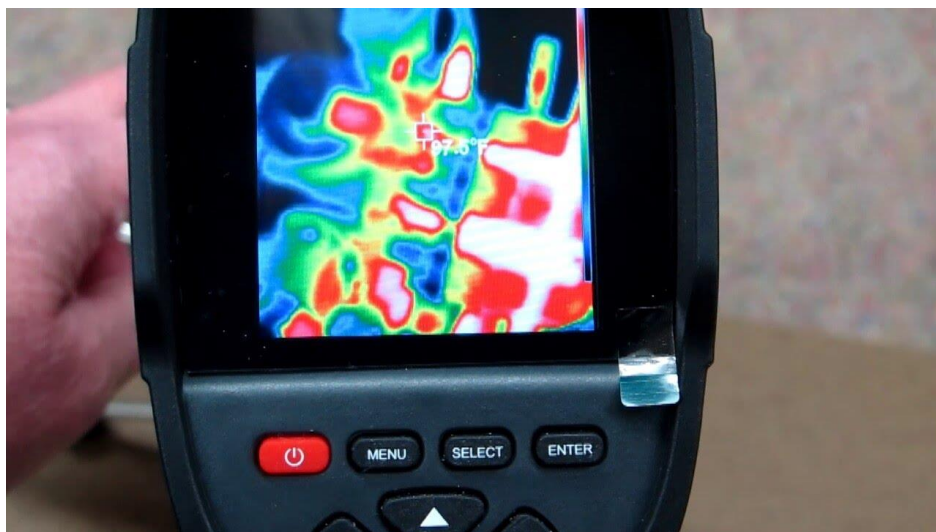


Рисунок 1.3 – «HT-18» в дії

Існує китайський аналог на інфрачервоному модулі. Проте в інтернет-магазинах він має завищену ціну як на такий пристрій. Він зображений на рисунку 1.4.

Модуль містить однокристальний мікрокомп'ютер, послідовний порт безпосередньо виводить 768 даних про температуру, а USB звертається до

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

комп'ютера для перегляду даних.



Рисунок 1.4 – Тепловізор «DANIU HY-18»

Для управління є три кнопки: ліва відповідає за вмикання-вимикання пристрою, а інші залежно від встановленого режиму можуть змінювати діапазон температури або збільшувати чи зменшувати картинку. Також можна викликати меню довгим натисканням лівої кнопки, де можна змінити границі колірної шкали, яскравість дисплею від 1 до 10, колірну шкалу чорно-білу чи кольорову. Ємність акумулятора пристрою 1000 мА/год, він працює до 5 годин та заряджається через microUSB.

1.3 Постановка задачі

Завданням дипломного проєкту є проєктування та реалізація власного ручного тепловізора, який повинен виконувати:

- відображення теплового зображення в реальному часі;
- відображувати шкалу тепла на зображенні;
- показувати найтеплішу та найхолоднішу температуру на термограмі.

Загалом, для забезпечення ефективної роботи, система повинна мати дружній інтерфейс користувача, зрозуміле призначення функцій. Пристрій повинен бути відкритий для подальшого нарощування функціональних можливостей плати, а також належним чином функціонувати в існуючому програмному просторі в умовах експлуатації.

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ПРОЄКТУВАННЯ ІНФРАЧЕРВОНОГО СКАНЕРА

2.1 Формалізація вимог до тепловізійного сканера

Пристрій для контролю температури у приміщенні – це система, яка дозволяє в реальному часі відображувати температуру на вбудованому екрані. Даний пристрій повинен налаштовуватись з меню керування та підлаштовуватися у межах встановленого користувачем діапазону.

Схема функціонування пристрою зображена на рисунку 2.1.

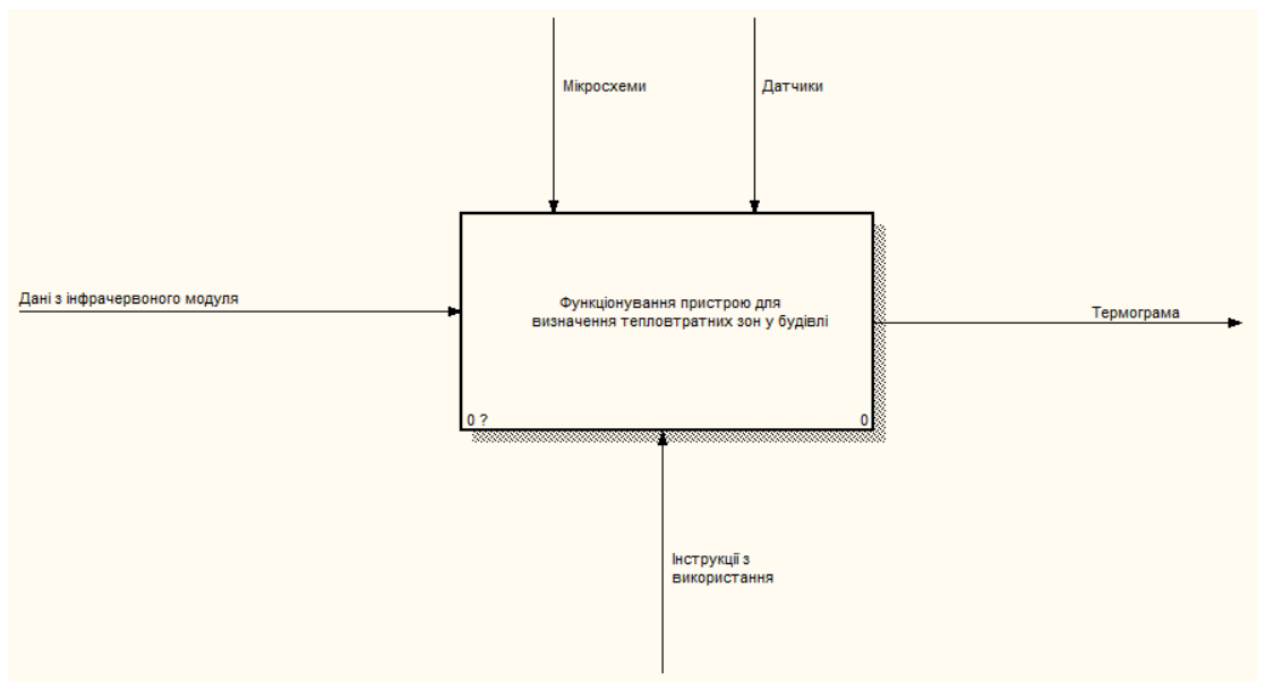


Рисунок 2.1 – Схема функціонування пристрою

2.2 Проєктування структури пристрою

Проєктування супроводжується пошуком, дослідженнями та розрахунками для отримання опису, достатнього щоб створити новий пристрій, з подальшою можливістю його модернізувати чи реконструювати.

В якості основного модуля було прийнято рішення використати ІЧ-модуль MLX90640 із кутом огляду 110*75 градусів, який підходить для близької відстані (рисунок 2.2).

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.2 – ІЧ-модуль MLX90640

Він буде прикріплений до плати та подаватиме сигнали на мікроконтролер. Сигнали приймаються з кожного ІЧ-датчика (пікселя). Матриця складається з 768 таких пікселів. Схему їхнього положення можна побачити на рисунку 2.3.

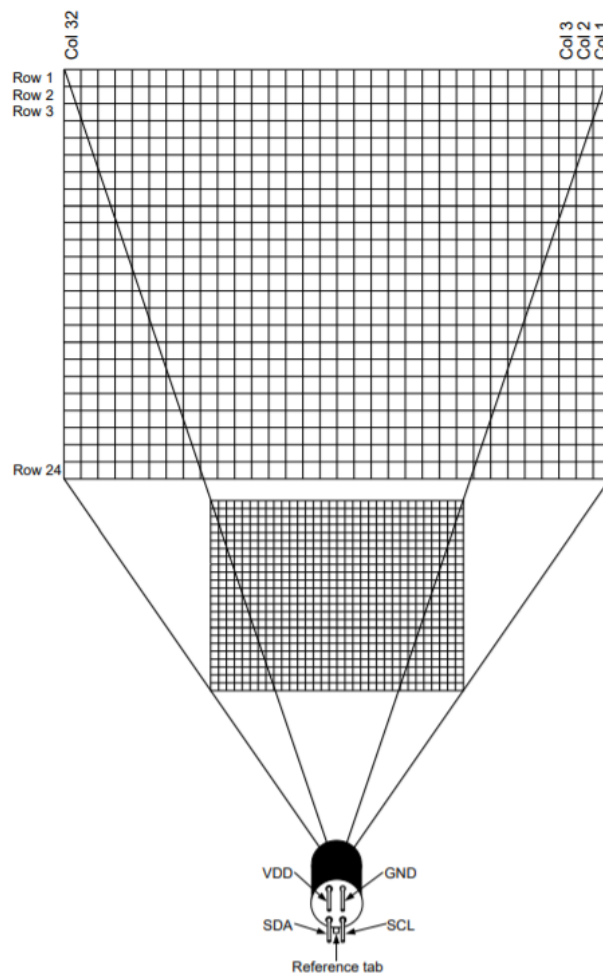


Рисунок 2.3 – Розташування пікселів ІЧ модуля

Пристрій повинен складатися з наступних модулів:

- температурний модуль – здійснюватиме сканування температури потенційних тепловтратних зон та передаватиме дані з кожного пікселя на мікроконтролер;
- макетна плата з екраном – призначена для відображення термограми;
- акумулятор – забезпечуватиме автономну роботу пристрою в будь-якому місці.

В якості макетної плати було обрано плату для розробників на модулі ESP32 (рисунок 2.4), на ній також міститься роз'єм для SD-карти, на якій можна зберігати зображення з ІЧ-модуля.

Мікроконтролер виробника Espressif Systems ESP32, який використовує мікропроцесор Tensilica Xtensa LX6 був вибраний через його технічні характеристики. Він здатний надійно функціонувати в промислових умовах з робочою температурою від -40°C до $+125^{\circ}\text{C}$, завдяки розширеним схемам калібрування ESP32 може динамічно усувати недоліки і пристосовуватися до змін зовнішніх умов. ESP32 досягає наднизького енергоспоживання за допомогою комбінації декількох типів власного програмного забезпечення.

Модуль має високу інтеграцію із вбудованими антенними вимикачами, радіочастотним підсилювачем, підсилювачем потужності, низькошумним приймальним підсилювачем, фільтрами та модулями управління потужністю.

Завдяки інтерфейсам SPI/SDIO або I2C/UART можливі такі функції як WiFi та Bluetooth, з допомогою яких можна передавати дані чи керувати пристроєм віддалено.

З допомогою передових технологій управління енергією ESP32 може перемикатися між різними режимами живлення:

- активний режим: увімкнений радіочіп. Чіп може приймати, передавати або слухати;
- режим сну модема: центральний процесор працює, а годинник налаштовується. Базова смуга WiFi/Bluetooth;
- режим легкого сну: призупинено ЦП та пам'ять RTC;

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- режим глибокого сну: увімкнено лише пам'ять RTC та периферійні пристрої RTC;
- режим гібернації: внутрішній 8-МГц-генератор і копроцесор ULP вимкнено. Відновлення RTC, пам'ять вимкнено. Увімкнено лише один таймер RTC на повільному тактовому режимі .

Таймер RTC або GPIO-інтерфейси RTC можуть розбудити мікросхему з режиму сплячки.

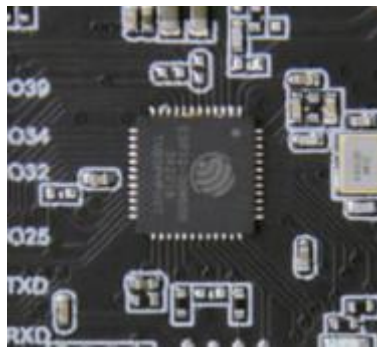


Рисунок 2.4 – Модуль ESP32

Хоч плата ESP32 з'явилася недавно, вона вже активно використовується в комерційних проєктах, пов'язаних з мобільними додатками, електронікою та завданнями IoT. Наприклад, на її базі побудований світлодіодний браслет IoT групи Alibaba. Він являє собою живий бездротовий екран, в якому кожен браслет працює як піксель. Також на основі мікроконтролера реалізована біометрична система відстеження відвідуваності і проєкти, пов'язані з аналізом кліматичних умов. Маючи плату ESP32 і датчики температури, вологості і тиску, можна самостійно зібрати метеостанцію. ESP32 використовується в музичних плеєрах, помічниках з голосовим управлінням, аудіогарнітурах.

Функціональну діаграму модуля можна побачити на рисунку 2.5.

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

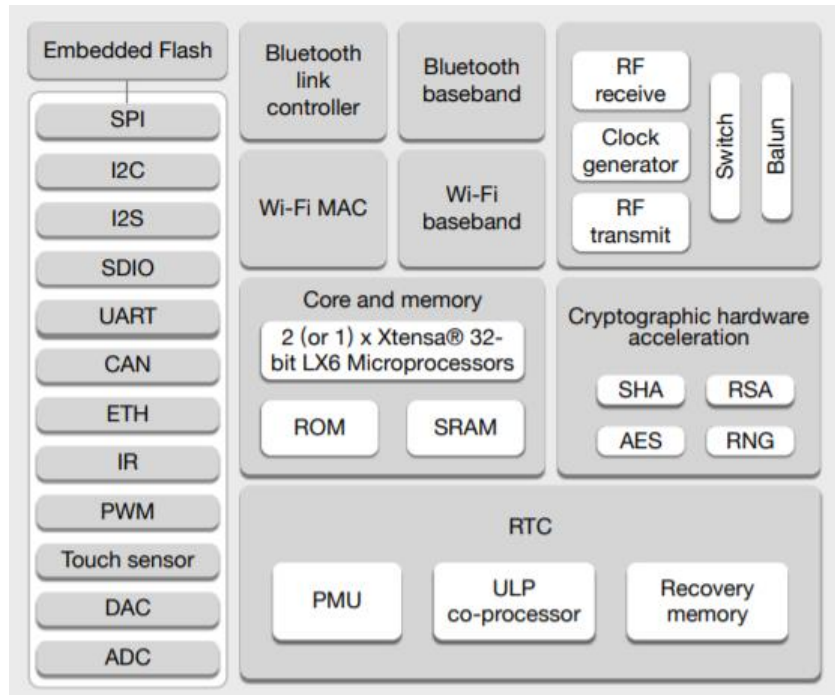


Рисунок 2.5 – Функціональна діаграма ESP32

Вихід підсилювача потужності також регулюється, таким чином забезпечуючи компроміс між діапазоном зв'язку, швидкістю передачі даних та енергоспоживанням.

На модулі ESP32 побудований модуль TTGO T4. Загальну схему плати та її розміри TTGO T4 наведено на рисунку 2.6.

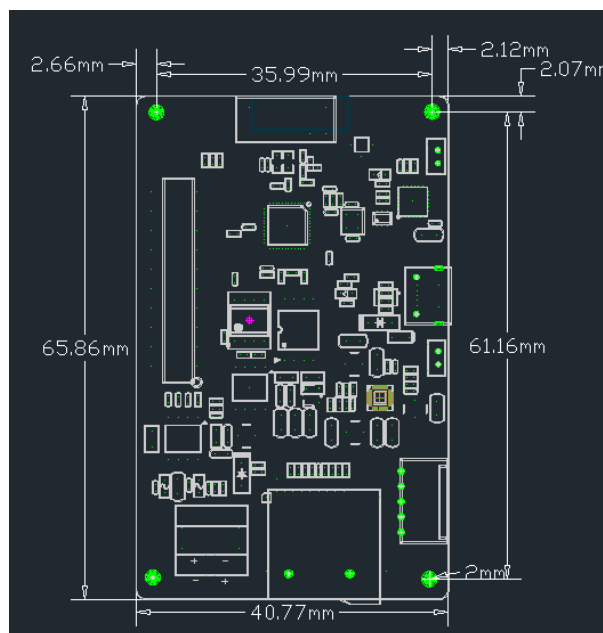


Рисунок 2.6 – Схема плати TTGO T4

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З іншого боку модуля TTGO T4 прикріплений 2.2" LCD-дисплей, а внизу вбудовані 3 кнопки для керування (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Дисплей TTGO T4

ІЧ-модуль надсилатиме дані (сигнали) з кожного пікселя камери на модуль ESP32, який, в свою чергу, опрацьовуватиме їх та відображатиме побудовану термограму на LCD -дисплеї.

Також розглядався варіант з окремими дисплеєм та модулем ESP32, проте обрана конструкція значно компактніша.

Структура системи наведена на рисунку 2.8.

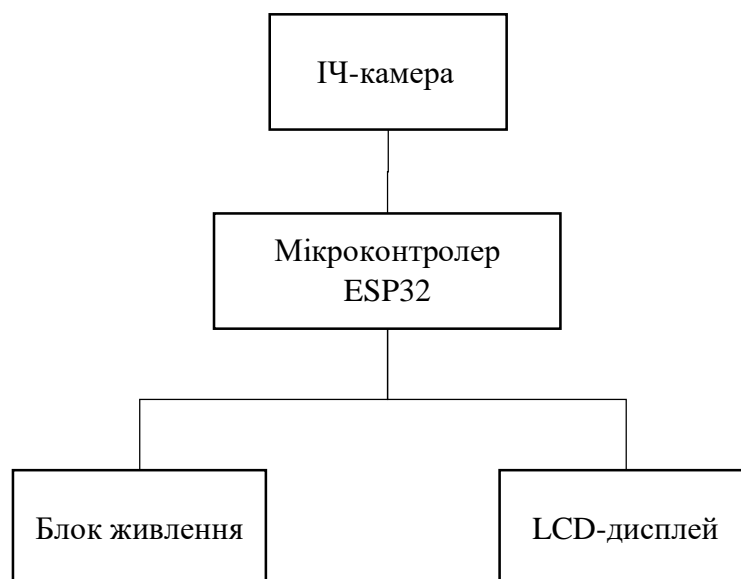


Рисунок 2.8 – Структурна схема модуля

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Алгоритм функціонування пристрою

Під час виконання даного дипломного проєкту було побудовано алгоритм функціонування пристрою для сканування температури в приміщенні.

Вхідними даними для роботи системи є дані з ІЧ-камери модуля.

Вихідними даними є відображена на екрані картинка з температурною схемою (термограма).

Як результатом проєкту повинен бути автономний тепловізійний сканер, яким, якщо буде потреба, можна керувати віддалено за допомогою Wi-Fi зв'язку.

Пристрій буде вмикатися за допомогою кнопки живлення, яка буде кріпитися на корпусі та під'єднана до плати TTGO через порт (рисунок 2.9).

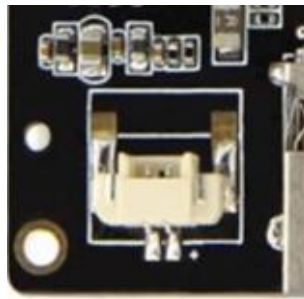


Рисунок 2.9 – Порт для живлення пристрою

Після включення ESP32 запускає інтерфейс та опитує ІЧ-камеру, після чого виводить дані на дисплей.

Блок-схема роботи теплового сканера зображена в Додатку А1.

Схема розташування виводів плати TTGO представлена на рисунку 2.10.



Рисунок 2.10 – Схема виводів TTGO

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ

3.1 Вибір засобів реалізації теплового сканера

Для створення власного теплового сканера потрібні наступні компоненти: контролер ESP32, LCD-дисплей, інфрачервона камера, акумулятор та пластиковий корпус, в якому все буде знаходитись.

В якості інфрачервоної камери використано MLX90640, яка зображена на рисунку 3.1. Роздільна здатність ІЧ-камери MLX90640 становить 320*240 пікселів.



Рисунок 3.1 – ІЧ-камера MLX90640

Дана ІЧ-камера має наступні контактні виводи (рисунок 3.2):

- SDA і SCL (двонаправлені лінії зв'язку);
- GND (шина нульового потенціалу);
- VIN (шина для подачі живлення) [7].

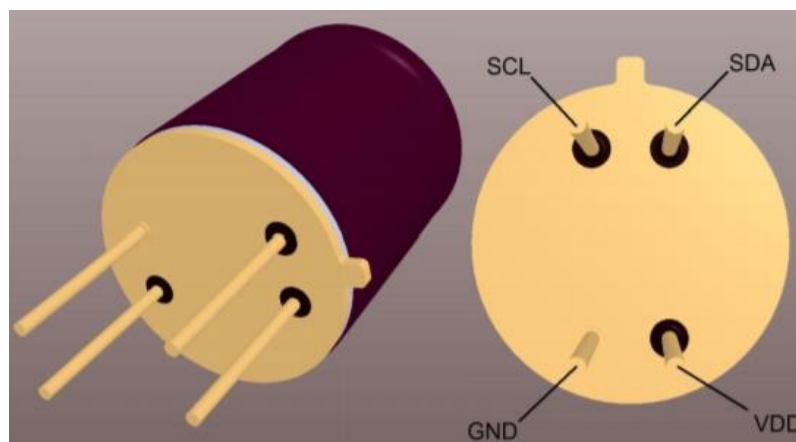


Рисунок 3.2 – Виходи ІЧ-камери

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Протокол ІІС (або як його часто називають І2С) був розроблений у 1982 році компанією Philips для різних мікросхем Philips [8]. Оригінальна специфікація допускала лише 100 кГц зв'язку та передбачала лише 7-бітові адреси, обмежуючи кількість пристроїв на шині до 112 (є кілька зарезервованих адрес, які ніколи не будуть використані для дійсних адрес І2С). У 1992 році була опублікована перша загальнодоступна специфікація, яка додала швидкий режим 400 кГц, а також розширений 10-бітний адресний простір. Значна частина часу (наприклад, на пристрої ATmega328 на багатьох плат, сумісних з Arduino).

Кожна шина І2С складається з двох сигналів: SCL і SDA. SCL - тактовий сигнал, а SDA - сигнал даних (рисунок 3.3). Тактовий сигнал завжди генерується поточним master-ом шини; деякі slave-контролери можуть змушувати подавати низькі такти, щоб затримати надсилання master-ом більше даних (або вимагати більше часу для підготовки даних, перш ніж master намагатиметься вимкнути їх).

І2С поєднує в собі найкращі характеристики SPI та UART. За допомогою І2С можна підключити декілька slave-контролерів до одного ведучого (наприклад SPI), і можна мати декількох master модулів, що управляють одиночними або декількома slave-контролерами. Це дійсно корисно, коли потрібно мати більше одного мікроконтролера, який записує дані на одну карту пам'яті або відображає текст на одному дисплеї.

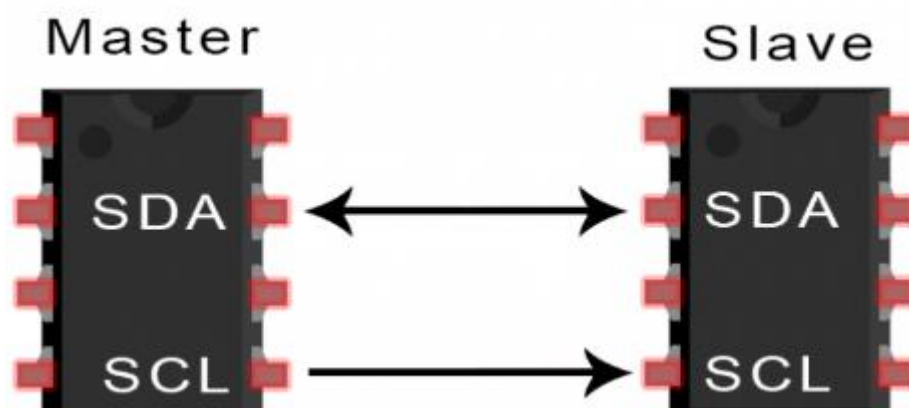


Рисунок 3.3 – Зв'язок І2С

В I2C є багато переваг порівняно з іншими протоколами, але є кілька вагомих недоліків.

Переваги:

- використовуються лише 2 дроти;
- підтримує декілька master та slave контролерів;
- простіший ніж UART;
- широко застосовуваний протокол.

Недоліки:

- повільніша швидкість передачі даних ніж в SPI;
- розмір кадрів даних обмежений 8 бітами;
- обладнання складніше ніж SPI.

Схема роботи послідовної шини зображена в Додатку А2.

Наступним компонентом є плата TTGO T4 (рисунок 3.4), яка містить мікроконтролер ESP32 та 2.2-дюймовий LCD-дисплей. Також є інтегровані радіомодулі WiFi та Bluetooth. ESP32 використовує 2-ядерний мікроконтролер Tensilica Xtensa LX6.

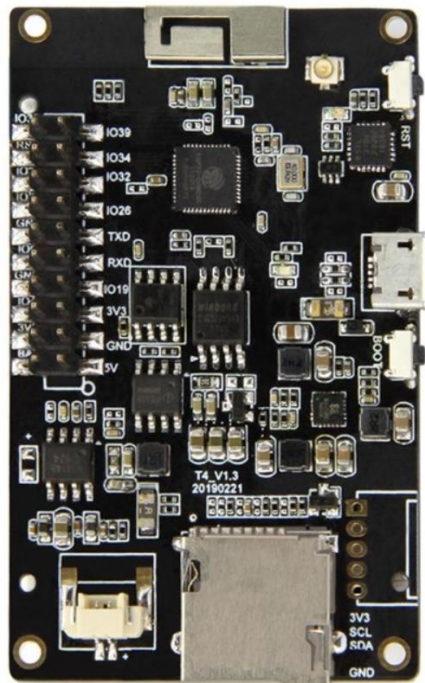


Рисунок 3.4 – Мікроконтролер ESP32 на платі TTGO T4

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Будова ESP32:

а) центральний процесор і пам'ять: Одно- / двоядерний 32-бітний мікропроцесор LX6 Xtensa із тактовою частотою 160 або 240 МГц та продуктивністю до 600 MIPS, 448 KB ROM, 520 KB SRAM;

б) безпроводний зв'язок: WiFi (802.11 b/g/n) і Bluetooth (4.2 BR / EDR and BLE);

с) розширені периферійні інтерфейси:

- 34 × програмовані GPIO's;
- 12-бітний SAR ADC до 18 каналів;
- 2 × 8-бітний DAC
- 4 × SPI;
- 2 × I2C;
- 3 × UART;
- SD / SDIO / CE-ATA / MMC / EMMC хост-контролер;
- SDIO / SPI слейв-контролери;
- Ethernet MAC-інтерфейс із спеціалізованою підтримкою DMA та IEEE 1588;
- ІЧ (TX / RX);
- ШІМ-вихід.

д) безпека:

- безпечне завантаження;
- Flash-шифрування;
- 1024-розрядний OTP, до 768 біт для клієнтів;
- прискорення криптографічного обладнання: AES, RSA, SHA-2;
- підтримка функцій безпеки стандарту IEEE 802.11;
- генератор випадкових чисел (RNG).

е) живлення:

- робоча напруга від 2.2В до 3.6В;
- робоча температура від -40°C до +125°C;
- лінійний регулятор з низьким рівнем падіння напруги;

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- індивідуальне живлення для RTC;
- споживання 5-2,5мкА в режимі «глибокого сну»;
- максимальна швидкість передачі даних 150Мбіт/с

при 11n HT40, 72Мбіт/с при 11n HT20, 54Мбіт/с при 11g, і 11Мбіт/с при 11b.

Вибір ESP32 зумовлений його малими розмірами, потужністю та низькими енергозатратами. Крім того, він вбудований в плату TTGO з дисплеєм. 2.2" SPI LCD-дисплей із роздільною здатністю 240x320 - ILI9341 (рисунок 3.5) [6].

ILI9341 — це одноколірний драйвер SOC 262144 кольорів для рідкокристалічного дисплея LCD з роздільною здатністю 240*320 пікселів RGB, 172800 байт GRAM для графічного відображення даних 240*320 пікселів RGB.

ILI9341 підтримує паралельний 8 / 9- / 16- / 18-бітний інтерфейс MCU шини даних, 6- / 16- / 18-бітну шину даних.

Інтерфейс RGB та 3- / 4-рядковий послідовний периферійний інтерфейс SPI.



Рисунок 3.5 – Дисплей LCD 2.2"

Зазначена область вікна може бути оновлена вибірково, так що рухоме зображення може відображатися одночасно незалежно від області фотографії.

ILI9341 може працювати з інтерфейсом, що живиться напругою 1,65В ~ 3,3В та вбудованою схемою послідовника напруги для створення рівнів напруги для керування дисплеєм.

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ILI9341 підтримує повноколірний, 8-колірний режим відображення та режим сну для точного контролю живлення програмним забезпеченням. Ці функції роблять ILI9341 ідеальним драйвером дисплея для портативних продуктів середнього або невеликого розміру, таких як цифрові стільникові телефони, смартфон, MP3 та PMP, де довготривалість роботи акумулятора це головна проблема. Також у даного LCD дисплею є підсвітка (рисунок 3.6).

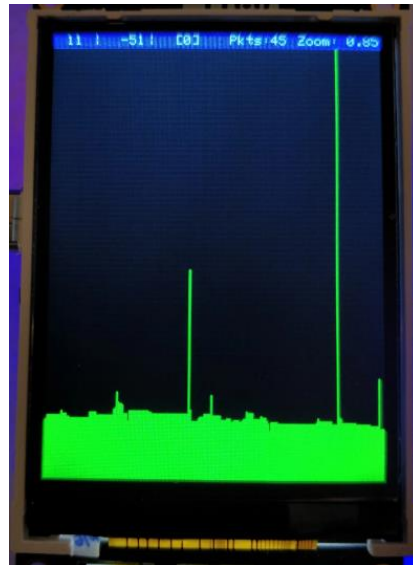


Рисунок 3.6 – Працюючий LCD-дисплей

Особливості дисплею:

- а) роздільна здатність дисплея: 240*320 (RGB);
- б) LCD-драйвер з повним дисплеєм оперативної пам'яті: 172 800 байт;
- с) режими відображення:
 - повноколірний режим (у режимі очікування вимкнено);
 - режим зменшеного кольору (режим очікування увімкнено);
- д) режими енергозбереження:
 - режим сну;
 - режим глибокого очікування.
- е) функції чіпа:
 - генератор і регулювання VCOM;
 - генератор часу;

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- осцилятор;
- перетворювач постійного та змінного струму;
- гамма з окремою корекцією RGB Gamma.

f) архітектура низького енергоспоживання;

g) діапазон робочих температур: від -40 до +80°C.

Також на платі є картрідер для SD-карт. На карту пам'яті можна зберігати зображення зі сканера та передавати їх по мережі Bluetooth.

Bluetooth – це відкритий стандарт бездротової технології для передачі даних між мобільними електронними пристроями на невеликі відстані. Bluetooth був представлений у 1994 році як бездротова заміна кабелів RS-232. Bluetooth спілкується з різними електронними пристроями та створює персональні мережі, що працюють в діапазоні 2,4ГГц. Діапазон роботи заснований на класі пристроїв. Bluetooth використовує різноманітні цифрові пристрої, включаючи MP3-плеєри, мобільні та периферійні пристрої та персональні комп'ютери.

Для автономної роботи пристрою був вибраний літєвий акумулятор ємністю 1600mAh з напругою 3.7В (рисунок 3.7). Він ідеально підходить до розмірів плати та забезпечує значний час роботи модуля.



Рисунок 3.7 – Літєвий акумулятор

Мову програмування C/C++ було вибрано для написання програмного коду, а інтегроване середовище Arduino IDE для відлагодження та завантаження на плату

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контролера програмного коду.

Arduino IDE – програмне забезпечення з відкритим кодом (IDE) дозволяє легко писати код і завантажувати його на плату. Він працює на Windows, Mac OS X та Linux. Середовище написано на Java та базується на процесорі Processing та іншому програмному забезпеченні з відкритим кодом.

Платформа Arduino стала досить популярною серед людей, які лише починають працювати з мікроконтролерами і це не дивно. На відміну від більшості попередніх програмованих плат, для завантаження нового коду на плату Arduino не потрібно окремого апаратного забезпечення – для цього достатньо використати USB-кабель. Крім того, Arduino IDE використовує спрощену версію мови C++, що полегшує навчання програмуванню. Нарешті, Arduino забезпечує стандартний форм-фактор, який розбиває функції мікроконтролера на більш доступні пакети.

3.2 Реалізація апаратної частини теплового сканера

Визначившись із засобами переходимо до самої реалізації.

Плата TTGO T4 вже практично готова до використання і її лиш потрібно правильно підключити до ІЧ-камери. На платі міститься роз'єм для підключення камери, в ньому є п'ять виходів: 3V3, SCL, SDA, 5V та GND (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 – Виходи для підключення ІЧ-камери

Камера працює при подачі живлення 3.3В, тому слід використати вихід 3V3. Отож, використовуємо для підключення камери усі наявні на роз'ємі контакти, окрім 5V (рисунок 3.9).

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

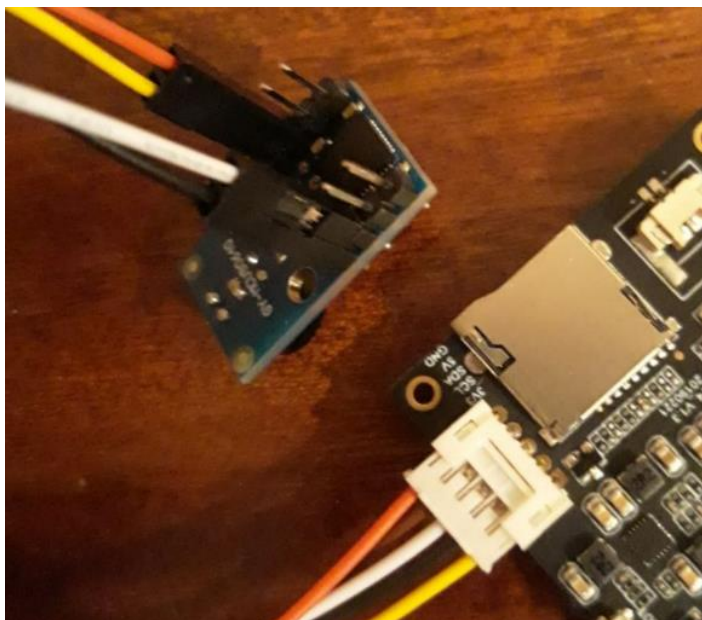


Рисунок 3.9 – Підключення камера

Після цього підключаємо акумулятор для забезпечення автономної роботи пристрою.

Для того щоб все було компактно та мало естетичний вигляд, було вирішено розробити корпус для друку на 3D-принтері. Для моделювання була використана програма SolidWorks та eDrawings.

3D-моделювання – це техніка в комп'ютерній графіці для створення 3D-цифрового зображення будь-якого предмету чи поверхні.

Користувач використовує спеціальне програмне забезпечення для маніпулювання точками у віртуальному просторі (так званими вершинами) для формування сітки: сукупності вершин, що утворюють об'єкт.

Ці точки формують в 3D-сітку і з'єднуються разом як багатокутні форми, як правило, трикутники або чотирикутники. Кожна точка або вершина має своє положення на сітці і за допомогою поєднання цих точок у фігури створюється поверхня предмета.

Програмне забезпечення eDrawings - це інструмент комунікації дизайну продукту для обміну уявленнями як двовимірних малюнків, так і 3D-моделей. Електронний формат даних файлів eDrawings сильно стискається, що дозволяє легко передавати їх електронною поштою.

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переглядаючи програмою eDrawings Viewer, ці файли надають інтелектуальні засоби інтерпретації (3D-показчик, віртуальна складка, анімовані малюнки), які допомагають одержувачу легко розуміти та орієнтуватися на отримані ними дані. Файли eDrawings створюються за допомогою додатку eDrawings Publisher, який працює як плагін для багатьох популярних CAD-продуктів. Після створення файлу eDrawings може бути надісланий кому-небудь електронною поштою.

Початковий екран програми eDrawings зображено на рисунку 3.10.

Для проєктування було використано середовище SolidWorks – це програмне забезпечення для автоматизованого проєктування (CAD), яке належить Dassault Systèmes. Він використовує принцип параметричного проєктування і генерує три види взаємопов'язаних файлів: деталь, збірку та креслення. Тому будь-яка модифікація одного з цих трьох файлів буде відображена в двох інших.

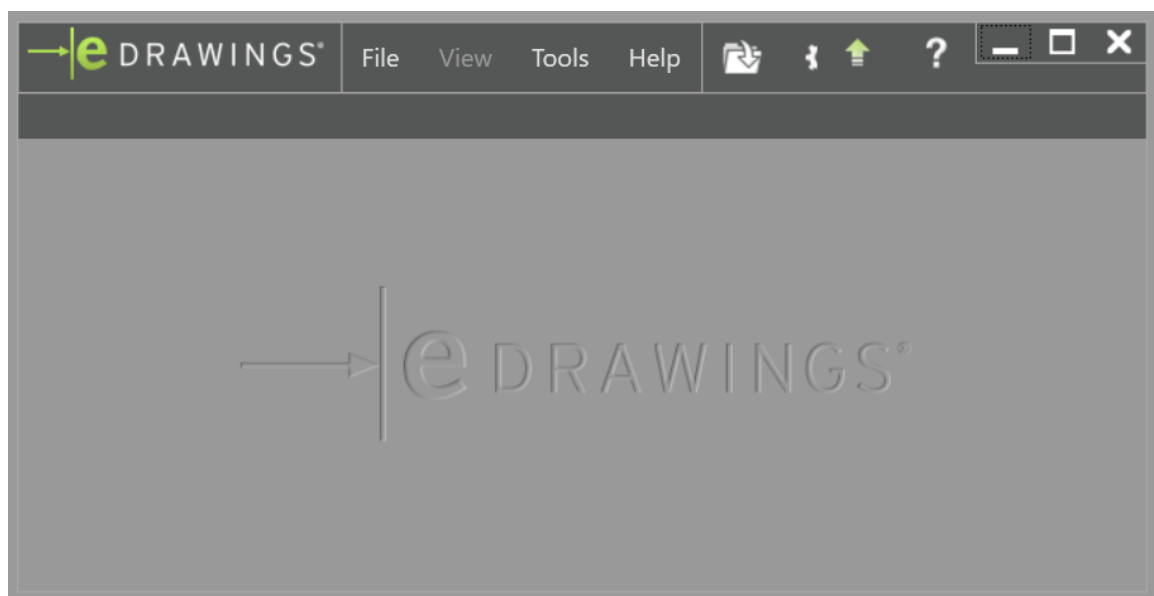


Рисунок 3.10 – Програма eDrawings

Завданням було виконати простий корпус, який б давав змогу для швидкого доступу до плати.

В результаті проєктування було створено корпус для пристрою. Його модель зображена на рисунках 3.11 та 3.12.

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

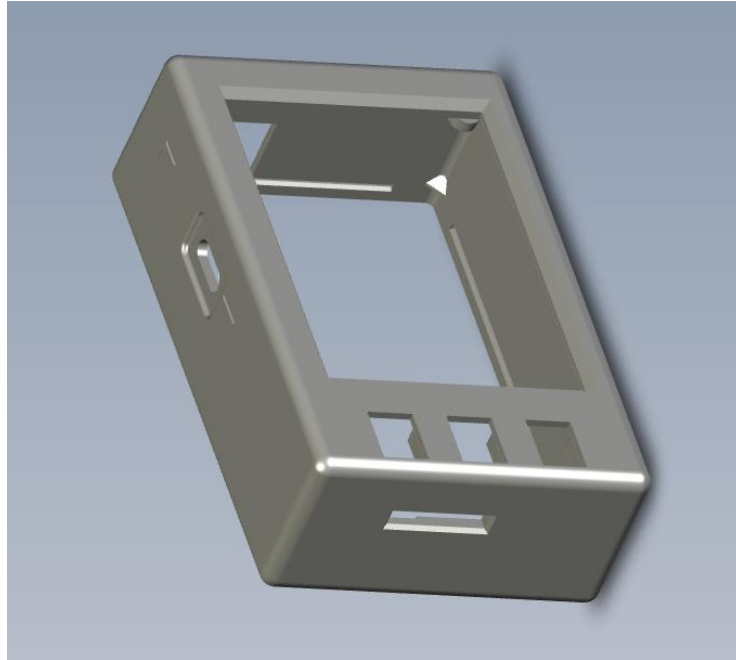


Рисунок 3.11 – Модель верхньої частини корпусу

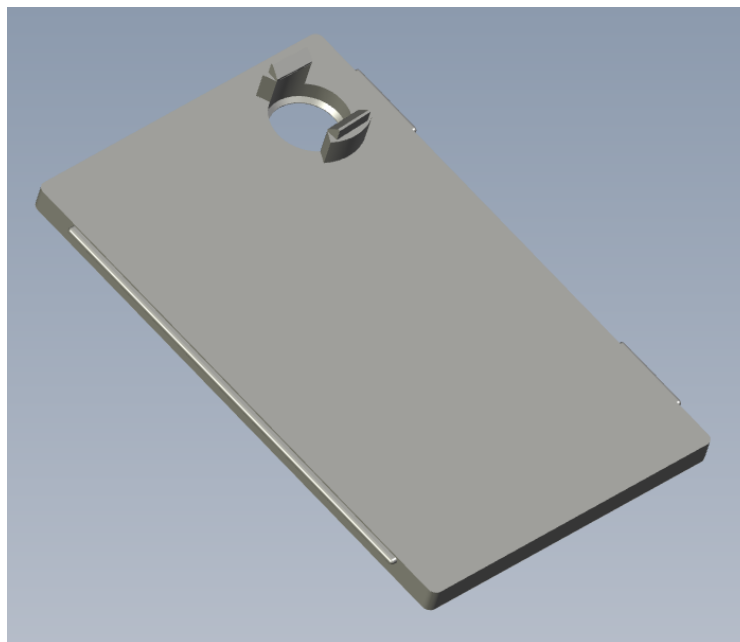


Рисунок 3.12 – Модель нижньої частини корпусу

Щоб почати друкувати, спочатку потрібно скористатися програмою-слайсером Ultimaker Cura. Це програмне забезпечення з відкритим кодом для нарізки 3D-моделі на шари для 3D-принтерів. Для моделі використовувався ABS пластик, також є й інші типи пластику, такі як PLA та PETG. Як результат було надруковано корпус для теплового сканера (рисунок 3.13).

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.13 – Корпус теплосканера

3.3 Реалізація електричної схеми пристрою

Для реалізації електричної схеми було використано програму Figma.

Figma – це програма для розробки інтерфейсів, яка працює як в браузері, так і десктопній версії. Figma надає всі інструменти, необхідні для етапу проєктування, включаючи векторні інструменти, які здатні до повноцінної ілюстрації, а також можливості складання прототипів та створення коду для передачі даних. Програму зображено на рисунку 3.14.

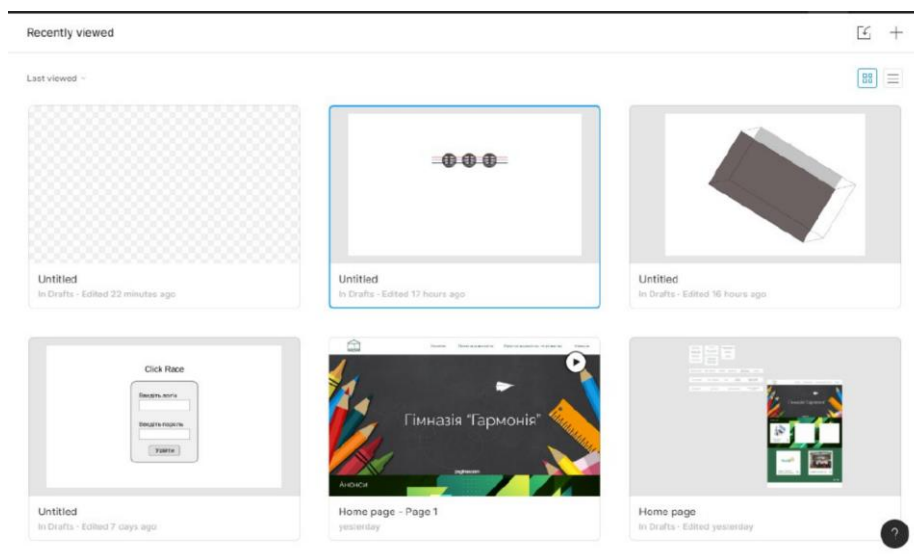


Рисунок 3.14 – Стартове вікно програми Figma

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ознайомившись з програмою було спроектовано схему пристрою. В програмі є великий вибір інструментів для створення принципових схем, які можуть містити контролери, датчики та інші компоненти (рисунок 3.15).

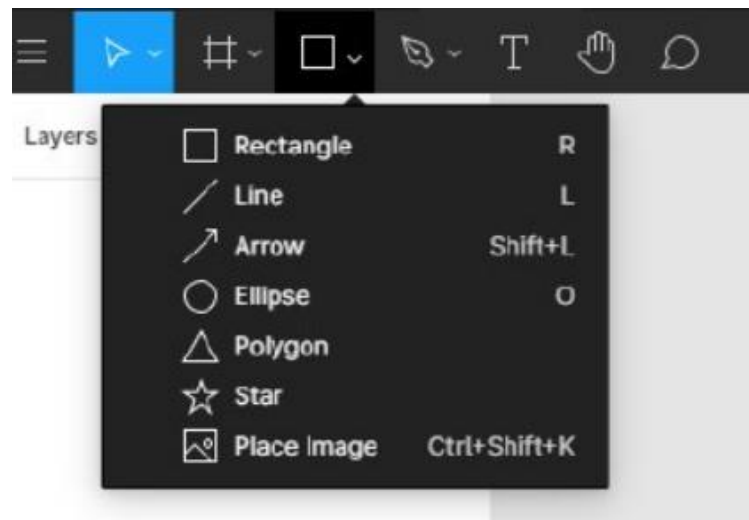


Рисунок 3.15 – Інструменти програми Figma

Електрична схема теплового сканера зображена на рисунку 3.16.

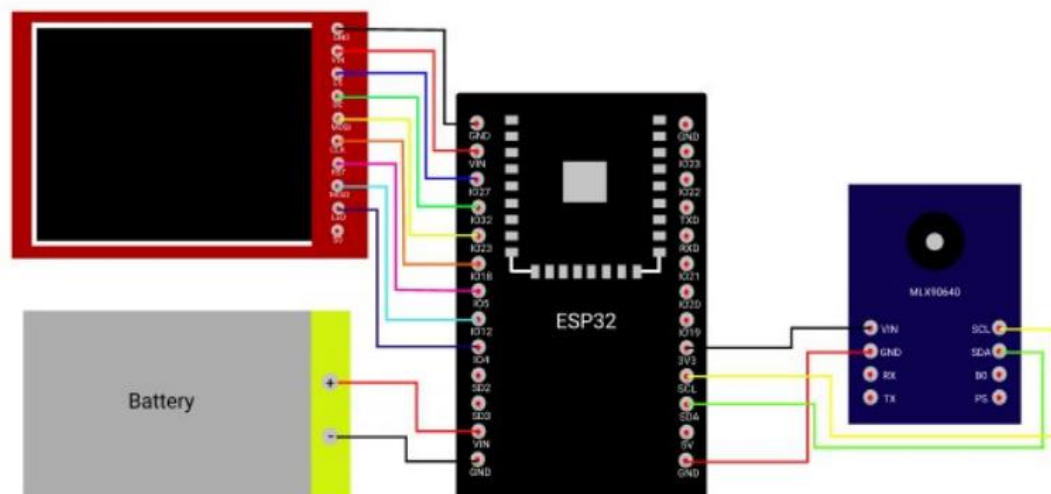


Рисунок 3.16 – Електрична схема пристрою

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4 Реалізація програмного забезпечення теплового сканера

Програмний код буде реалізовано в середовищі Arduino IDE. Початковий екран програми зображено на рисунку 3.17.



Рисунок 3.17 – Програма Arduino IDE

Проекти, зроблені за допомогою Arduino, називаються скетчами, і такі скетчі, як правило, записуються у скороченій версії C++ (ряд функцій C++ не входить). Оскільки програмування мікроконтролера дещо відрізняється від програмування на комп'ютері, існує низка бібліотек, характерних для пристрою (наприклад, зміна режимів контактів, вихідних даних на штифтів, зчитування аналогових значень та таймерів). Це іноді бентежить користувачів, які думають, що Arduino запрограмований на "мові Arduino". Однак Arduino, насправді, запрограмований на C++. Він просто використовує унікальні бібліотеки для пристрою.

У програмі є 6 основних кнопок (рисунок 3.18).

- 1) Галочка використовується для перевірки коду.
- 2) Стрілка завантажить код в Arduino для запуску.
- 3) Документ створить новий файл.
- 4) Стрілка вгору використовується для відкриття існуючого проекту Arduino.
- 5) Стрілка вниз використовується для збереження поточного файлу.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

6) Крайня права кнопка - це послідовний монітор, який корисний для надсилання даних з Arduino на ПК для цілей налагодження.



Рисунок 3.18 – Основні елементи панелі керування Arduino IDE

Перш ніж приступити до реалізації програмного забезпечення, потрібно правильно визначити драйвер обраного для проєкту дисплею. В нашому випадку це ILI9341 ревізії 1.3. Номери виводів для нього подано у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Виводи для дисплею

Назва виходу	V13
CS	27
DC	32
MOSI	23
CLK	18
RST	5
MISO	12
LED	4

На початку роботи потрібно збільшити тактову частоту I2C до 400кГц та перевірити чи підключена ІЧ-камера до ESP32 (лістинг 3.1).

Лістинг 3.1 – Перевірка на підключення камери.

```

lcd.begin();
Wire.begin();
Wire.setClock(400000);
while (!lcd);
lcd.prn("Camera online");
if (Conect() == false)
{
    lcd.prn("MLX не виявлено з типовою адресою. Перевірте
з'єднання");
    while (1);
}

```

Далі потрібно зчитати параметри пристрою (лістинг 3.2).

Лістинг 3.2 – Зчитування параметрів пристрою.

```
int stas;
uint16_t pMLX[768];
stas = MLX_D(MLX_ad, eMLX);
if (stas != 0)
    lcd.prn("Помилка завантаження параметрів");
stas = MLX_EP(eMLX, &mlx);
if (stas != 0)
{
    lcd.prn("Не вдалося прийняти параметри");
    lcd.prn(" stas = ");
    lcd.prn(stas);
}
```

Модуль MLX90640 працює із спеціальними значеннями в пам'яті / регістрі датчика. Значення в позиції 0x700D повинно бути 2101 HEX = 5420 DEC. Також потрібно встановити правильну частоту, в нашому випадку – 4Гц (лістинг 3.3).

Лістинг 3.3 – Частоти із якими працює камера.

```
MLX_I2C(0x33, 0x700D, 5420);
//MLX_SRR(MLX_ad, 0x00);
//MLX_SRR(MLX_ad, 0x01);
//MLX_SRR(MLX_ad, 0x02);
//MLX_SRR(MLX_ad, 0x03);
MLX_SRR(MLX_ad, 0x04);
//MLX_SRR(MLX_ad, 0x05);
//MLX_SRR(MLX_ad, 0x06);
//MLX_SRR(MLX_ad, 0x07);
```

Після всіх налаштувань, якщо пристрій готовий до використання, будується інтерфейс користувача (лістинг 3.4).

Лістинг 3.4 – Інтерфейс користувача

```
pinMode(LCD_LED, OUTPUT);
digitalWrite(LCD_LED, HIGH);
lcd.begin();
lcd.setRotation(1);
lcd.setCursor(80, 100);
lcd.setTextSize(2);
lcd.prn("MLX90640 online!");
lcd.setCursor(120, 150);
lcd.prn("WELCOME:");
delay(500);
lcd.fillScreen(ILI9341_BLACK);
led.freq(0, 0, 319, 13, led.color565(255, 0, 10));
```

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
lcd.setCursor(100, 3);
lcd.setTextSize(1);
```

Продовження Лістингу 3.4

```
lcd.setTextColors(ILI9341_YELLOW, lcd.colors(255, 0, 10));
lcd.println("Baraniuk Volodymyr LCD");
lcd.drawLine(250, 210 - 0, 258, 210 - 0, lcd.colors(255, 255,
255));
lcd.drawLine(250, 210 - 30, 258, 210 - 30, lcd.colors(255,
255, 255));
lcd.drawLine(250, 210 - 60, 258, 210 - 60, lcd.colors(255,
255, 255));
lcd.drawLine(250, 210 - 90, 258, 210 - 90, lcd.colors(255,
255, 255));
lcd.drawLine(250, 210 - 120, 258, 210 - 120, lcd.colors(255,
255, 255));
lcd.drawLine(250, 210 - 150, 258, 210 - 150, lcd.colors(255,
255, 255));

lcd.drawLine(250, 210 - 180, 258, 210 - 180, lcd.colors(255, 255,
255));
lcd.setCursor(80, 220);
lcd.setTextColors(ILI9341_WHITE, lcd.colors(0, 0, 0));
lcd.println("T+ = ");

//кольорова шкала
for (i = 0; i < 181; i++)
{
    getColor(i);
    lcd.drawLine(240, 210 - i, 250, 210 - i, lcd.colors(R, G,
B));
}
}
```

Функція `getColor` вибудовує RGB термограму, тому вона потрібна щоб замальовувати пікселі (лістинг 3.5).

Лістинг 3.5 – Функція `getColor`.

```
void getColor(int j)
{
    if (j >= 0 && j < 30)
    {
        R = 0;
        G = 0;
        B = 20 + (120.0/30.0) * j;
    }
    if (j >= 30 && j < 60)
    {
        R = (120.0 / 30) * (j - 30.0);
        G = 0;
```

```
B = 140 - (60.0/30.0) * (j - 30.0);
```

ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ

Арк.

38

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

```

    }
    if (j >= 60 && j < 90)

```

Продовження Лістингу 3.5

```

    {
        R = 120 + (135.0/30.0) * (j - 60.0);
        G = 0;
        B = 80 - (70.0/30.0) * (j - 60.0);
    }
    if (j >= 90 && j < 120)
    {
        R = 255;
        G = 0 + (60.0/30.0) * (j - 90.0);
        B = 10 - (10.0/30.0) * (j - 90.0);
    }
    if (j >= 120 && j < 150)
    {
        R = 255;
        G = 60 + (175.0/30.0) * (j - 120.0);
        B = 0;
    }
    if (j >= 150 && j <= 180)
    {
        R = 255;
        G = 235 + (20.0/30.0) * (j - 150.0);
        B = 0 + 255.0/30.0 * (j - 150.0);
    }
}

```

Отже, це були налаштування пристрою при його завантаженні. Далі потрібно створити цикл в якому буде здійснюватися оновлення термограми. Спочатку отримуємо дані для відображення кадру (лістинг 3.6).

Лістинг 3.6 – Отримання даних для фрейму.

```

for (byte g = 0 ; g < 2 ; g++)
{
    uint16_t mlxF[768];
    int stas = MLX_GFD(MLX_ad, mlxF);

    if (stas < 0)
    {
        lcd.prn("Помилка отримання фрейму: ");
        lcd.prn(stas);
    }

    float v = MLX_GV(mlxF, &mlx);
    float t = MLX_t(mlxF, &mlx);
    float tad = t - T_SHIFT;
    float em = 0.95;
}

```

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		


```

        MLX_Calc(mlxF, &mlx, em, tad, mlxTo);
    }

```

Далі потрібно визначити максимальну та мінімальну температуру в кадрі, а також температуру в центрі фрейму та виправити помилкові пікселі (лістинг 3.7).

Лістинг 3.7 – Визначення температур на термограмі.

```

mlxTo[1*32 + 21] = 0.5 * (mlxTo[1*32 + 20] + mlxTo[1*32 + 22]);
// усунення помилкових пікселів
    mlxTo[4*32 + 30] = 0.5 * (mlxTo[4*32 + 29] + mlxTo[4*32 +
31]); // усунення помилкових пікселів
    C_min = mlxTo[0];
    C_max = mlxTo[0];
    for (i = 1; i < 768; i++)
    {
        if((mlxTo[i] > -41) && (mlxTo[i] < 301))
        {
            if(mlxTo[i] < C_min)
            {
                C_min = mlxTo[i];
            }
            if(mlxTo[i] > C_max)
            {
                C_max = mlxTo[i];
            }
        }
        else if(i > 0) // вихід за масив
        {
            mlxTo[i] = mlxTo[i-1];
        }
        else
        {
            mlxTo[i] = mlxTo[i+1];
        }
    }
    C_center = mlxTo[11* 32 + 15];

```

Тепер коли всі дані зібрані можна малювати фрейм за допомогою функції `drline` (лістинг 3.8).

Лістинг 3.8 – Малювання термограми

```

for (i = 0 ; i < 24 ; i++)
{
    for (j = 0; j < 32; j++)
    {
        mlxTo[i*32 + j] = 180.0 * (mlxTo[i*32 + j] - C_min)
/ (C_max - C_min);
        getColor(mlxTo[i*32 + j]);
    }
}

```

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

        lcd.fRe(217 - j * 7, 35 + i * 7, 7, 7, lcd.color565(R,
G, B));
    }
}

```

Продовження Лістингу 3.8

```

    lcd.drline(217 - 15*7 + 3.5 - 5, 11*7 + 35 + 3.5, 217 - 15*7
+ 3.5 + 5, 11*7 + 35 + 3.5, lcd.color565(255, 255, 255));
    lcd.drline(217 - 15*7 + 3.5, 11*7 + 35 + 3.5 - 5, 217 - 15*7
+ 3.5, 11*7 + 35 + 3.5 + 5, lcd.color565(255, 255, 255));
    lcd.fRe(260, 25, 37, 10, lcd.color565(0, 0, 0));
    lcd.fRe(260, 205, 37, 10, lcd.color565(0, 0, 0));
    lcd.fRe(115, 220, 37, 10, lcd.color565(0, 0, 0));

    lcd.setTextColor(ILI9341_WHITE, lcd.color565(0, 0, 0));
    lcd.setCursor(270, 30);
    lcd.prn(C_max, 1);
    lcd.setCursor(270, 210);
    lcd.prn(C_min, 1);
    lcd.setCursor(121, 221);
    lcd.prn(C_center, 1);
    lcd.setCursor(301, 26);
    lcd.prn("C");
    lcd.setCursor(301, 206);
    lcd.prn("C");
    lcd.setCursor(156, 221);
    lcd.prn("C");
    delay(21);
}

```

Функція для перевірки з'єднання камери isConnected (лістинг 3.9).

Лістинг 3.9 – Перевірка з'єднання камери

```

boolean Connect()
{
    Wire.beginTransaction((uint8_t)MLX_ad);
    if (Wire.endTransmission() != 0)
        return (false); //Модуль не знайдено
    return (true);
}

```

Повна версія програмного коду знаходиться в Додатку Б.

3.5 Тестування програмного забезпечення теплового сканера

Після ввімкнення живлення плати запускається початковий екран теплового сканера та повідомляє чи підключена камера (рисунок 3.19).

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

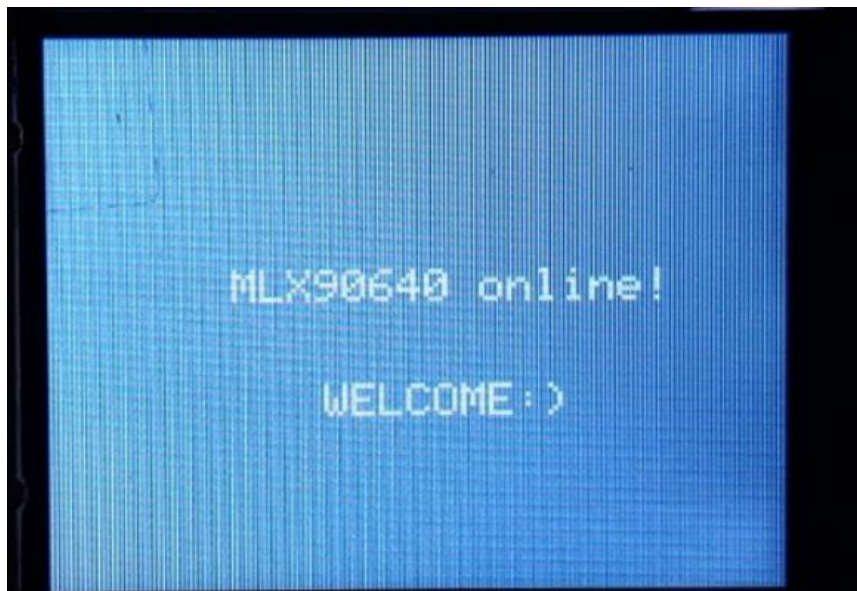


Рисунок 3.19 – Початковий екран сканера

Далі в лівій частині дисплею відображається термограма із позначеною температурою в центрі, в правій – шкала та максимальна і мінімальна температура на зображенні (рисунок 3.20).



Рисунок 3.20 – Завантажений інтерфейс

Результати роботи теплового сканера можна побачити на рисунках 3.21 та 3.22.

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

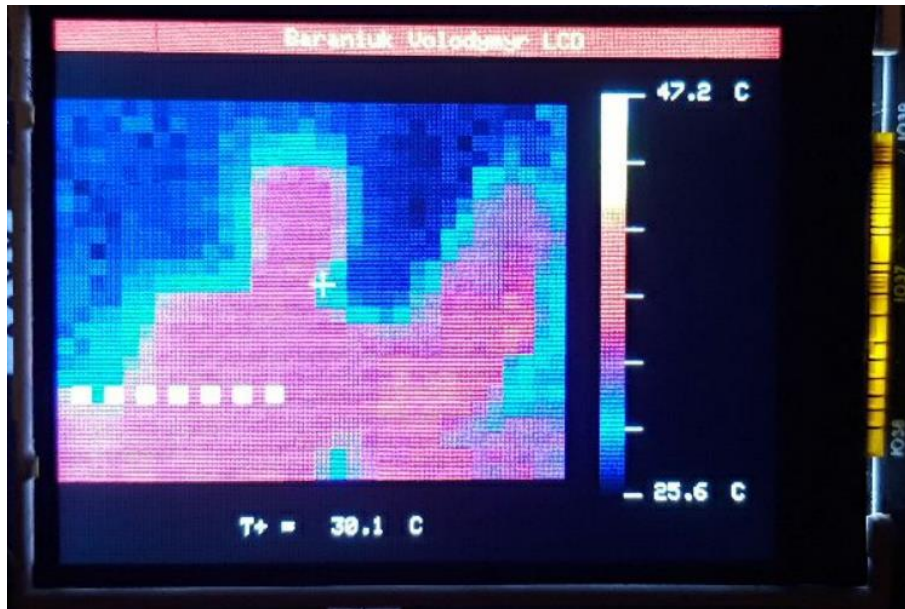


Рисунок 3.21 – Працюючий сканер

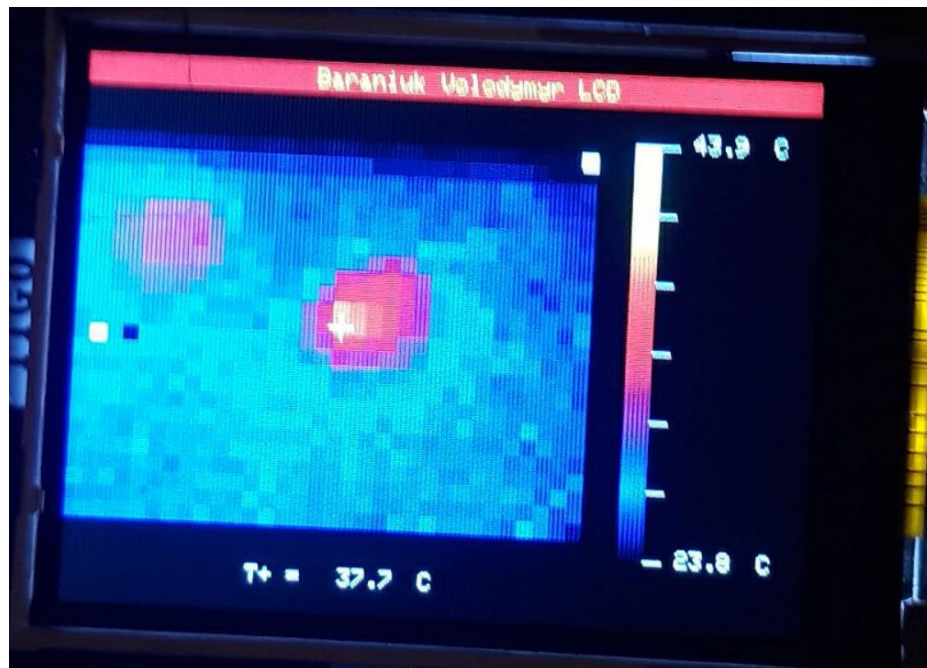


Рисунок 3.22 – Акумулятор ноутбука на столі

Отже, тепловий сканер справляється із своїм завданням, термограма оновлюється в реальному часі та відображає найгарячіші та найхолодніші температури сканованої поверхні.

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

4.1 Аналіз ринку

Прилад для вимірювання тепловтратних зон в приміщенні який дозволяє бачити теплове (інфрачервоне) випромінювання навколишніх об'єктів в будь-який час доби, вимірювати температуру в будь-якій точці на поверхні. Найбільшою мірою ціна тепловізора залежить від роздільної здатності інфрачервоної матриці, температурного діапазону, дальності дії (великі об'єктиви коштують дорожче) і додаткових вимірювальних функцій.

Деякі системи та пристрої вже представлені на ринку. Однією з компаній, яка спеціалізується на тепловізуалізації для дистанційного моніторингу є MoviTHERM. В них, для прикладу, є рішення для термічного моніторингу серверної кімнати [1]. Це комплексне системне рішення було розроблено для задоволення конкретних потреб моніторингу центру обробки даних. Використовуючи комбінацію вдосконалених теплових зображень та перевірених нестандартних компонентів, система MoviTHERM Server Room Monitoring надає всі інструменти необхідні для виявлення проблем на ранніх термінах – перш ніж вони перетворяться в дорогі та потенційно критичні збої в мережі. Цю технологію можна застосувати і для моніторингу звичайних будівель.

Якщо дивитися на портативні прилади, до до них можна віднести камеру FLIR AX8. Вона є гібридом теплового датчика з розширеними можливостями обробки зображень. Поєднуючи теплові та візуальні камери в невеликому доступному пакеті, FLIR AX8 забезпечує постійний моніторинг температури для критичних електричних та механічних пристроїв. Камери можна налаштувати для контролю температури та спостереження за несподіваними «гарячими точками». Вбудовані функції камер для аналізу та сигналізації тривоги працюють в поєднанні з іншими компонентами системи, щоб попередити персональні служби, коли потрібні заходи щодо виправлення.

Незважаючи на значні переваги використання розглянутих систем, вони мають і певні недоліки. Однак, основним стримуючим фактором для їх

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

впровадження є ціна: вартість мінімальної комплектації становить майже \$1000. Для пересічних людей, яким потрібно обстежити власне житлове приміщення, це досить значна сума.

Власний продукт не є новим, хоча і збирається “з нуля”. Це є дешевша модифікація вже існуючих приладів з новим інтерфейсом.

Покупці зможуть дозволити собі такий пристрій коли захочуть перепланувати свій будинок, визначити місця де є витік тепла в стінах та утеплити їх. Також зручність у використанні та компактність.

Потенційними замовниками є люди, мешканці будинків, квартир котрим потрібно швидко і недорого зробити ремонт.

Ідеальним ринком для такого товару будуть різні інтернет-майданчики для продажу чи будівельні магазини. Пристрій для початку буде продаватися в інтернет-магазині – це вигідніше і зручніше для обох сторін.

Досить великий попит очікується на даний товар. В сучасних реаліях слід віддати перевагу рекламному продажу пристрою, адже практично всі мають доступ до інтернету та користуються соціальними мережами, де і можна показувати рекламу.

Планується відкрити онлайн-сервісний центр для підтримки користувачів де можна дізнатися відповідь на всі питання щодо приладу.

З плином часу та гарним попитом можна очікувати досить великих обсягів продажу.

Головним конкурентом є китайські виробники на великому інтернет майданчику “AliExpress”. В них теж відносно низька ціна, дизайн схожий на смартфон. Ціни варіюються в районі 100 доларів.

Найсуттєвішими ознаками конкурентних переваг вважають:

- цінова політика (знижки, бонуси);
- доступність деталей для заміни;
- власний дизайн.

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Розрахунок витрат на проектування

Зарплата розробника

Статтею 6 Закону про оплату праці і ст. 96 КЗпП установлено, що розмір мінімального посадового окладу (тарифної ставки) працівника не має бути менший ПМПО на 1 січня календарного року. У 2020 році такий мінімум складає 4723 грн., а отже, і мінімальний розмір окладу на увесь 2020 рік має бути не нижчий 4723 грн.

Інженеру нараховані за повний відпрацьований місяць 5120 грн. Податкова соціальна пільга до такої заробітної плати не застосовується, оскільки вона більша за граничний розмір доходу, який дає право на податкову соціальну пільгу.

1) Рахуємо податок на доходи фізичних осіб: $5120 \times 18\%$ (ставка податку на доходи фізичних осіб) = 921.6 грн.

2) Рахуємо військовий збір: $5120 \times 1,5\%$ (ставка військового збору) = 76,8 грн.

3) Рахуємо єдиний внесок: $5120 \times 22\%$ (ставка ЄСВ) = 1126,4 грн.

4) Утримання – 998,4 грн. (921,6 грн. + 76,8 грн.)

5) До виплати працівникові – 4121,6 грн. (5120 грн. – 921,6 грн. – 76,8 грн.)

Розробнику програмного забезпечення нараховані за повний відпрацьований місяць 9857 грн. Податкова соціальна пільга до такої заробітної плати не застосовується, оскільки вона більша за граничний розмір доходу, який дає право на податкову соціальну пільгу.

1) Рахуємо податок на доходи фізичних осіб: $9857 \times 18\%$ (ставка податку на доходи фізичних осіб) = 1774.26 грн.

2) Рахуємо військовий збір: $9857 \times 1,5\%$ (ставка військового збору) = 147,86 грн.

3) Рахуємо єдиний внесок: $9857 \times 22\%$ (ставка ЄСВ) = 2168,54 грн.

4) Утримання – 1922,12 грн. (1774,26 грн. + 147,86 грн.)

5) До виплати працівникові – 7934,88 грн. (9857 грн. – 1774,26 грн. – 147,86 грн.)

Розрахування заробітної плати подано у таблиці 4.1

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Розрахування заробітної плати

Посада	Оклад	Відрахування	Кількість		Сума
Розробник ПЗ	9857 грн./міс.	1922,12 грн/міс	1 чол.	1 міс.	7934,88грн.
Інженер I ступеня	5120 грн./міс.	998,4 грн/міс	1 чол.	1 міс.	4121,6 грн.
	Усього зарплати:				12056,48 грн.

Контрагентські роботи не проводилися та працівники не були у відрядженні, тому витрат на це немає.

Інші прямі витрати за місяць 1962,9 грн (матеріали, обладнання). Усього прямих витрат 7949,75 грн. – витрати на компоненти для проєкту:

- 1820 грн. (камера);
- 640 грн. (плата);
- 200 грн. (акумулятор);
- 1600 грн. (камера);
- 1200 грн. (мікроконтролери);
- 400 грн. (спайка);
- 269,75 грн. (супутні матеріали).

Накладні витрати за місяць становлять 4,200 грн.

Планові накопичення у відсотках (25-35) від суми прямих і накладних витрат.

Планові накопичення за місяць становлять 3037,43 грн $((4,200 + 7949,75) \times 0,25)$.

Усього кошторисна вартість проєкту 15187,18 грн. (сума прямих і накладних витрат та планових накопичень).

4.3 Обґрунтування необхідності розробки

Було проаналізовано декілька пристроїв на ринку, та аналіз показує, що реалізація власного теплового сканера дозволить значно зменшити його

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

собівартість, що зробить його доступнішим ширшому колу користувачів. Пристрій буде компактний та автономний, що заощадить місце і сили.

Пристрій в першу чергу призначений для звичайних людей для використання в побутових цілях, це чудовий прилад для швидкого визначення теплового стану будь-якої поверхні.

З економічної точки зору це вигідно тим, що з'являться нові робочі місця, а відповідно і податки для держави.

Основним напрямком отримання ефекту при запровадженні проекту буде маркетинг, тому що потрібно якнайшвидше та дешевше донести інформацію людям про цей пристрій.

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Після проведеного аналізу предметної області було сформульовано задачу та мету створення теплового сканера, визначені та описані функції які сканер повинен виконувати.

Проектування – перший етап у створенні будь-якої системи. Тому було створено схематичну модель пристрою, який здатен в реальному часі будувати термограму поверхонь об'єктів.

На наступному етапі було визначено засоби реалізації для поставленої задачі. Було обрано плату для розробників із мікроконтролером ESP32 та декілька спеціальних модулів. Також визначено мову програмування C++ та середовище розробки Arduino IDE.

В результаті було реалізовано та протестовано тепловий сканер, про який було описано у відповідних розділах.

В майбутньому планується удосконалити даний пристрій, задіявши наявні на платі TTGO кнопки для виконання певних додаткових функцій, а також забезпечити збереження на карті пам'яті microSD термограм у вигляді графічних файлів.

З даною темою було виступлено на «Днях Науки – 2020», які проходили на базі Галицького коледжу імені В'ячеслава Чорновола з використанням платформи для відеоконференцій «Zoom Video Communications». За результатами доповіді у науковому збірнику була надрукована стаття на тему «Тепловий сканер для визначення тепловтратних зон у будівлі».

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

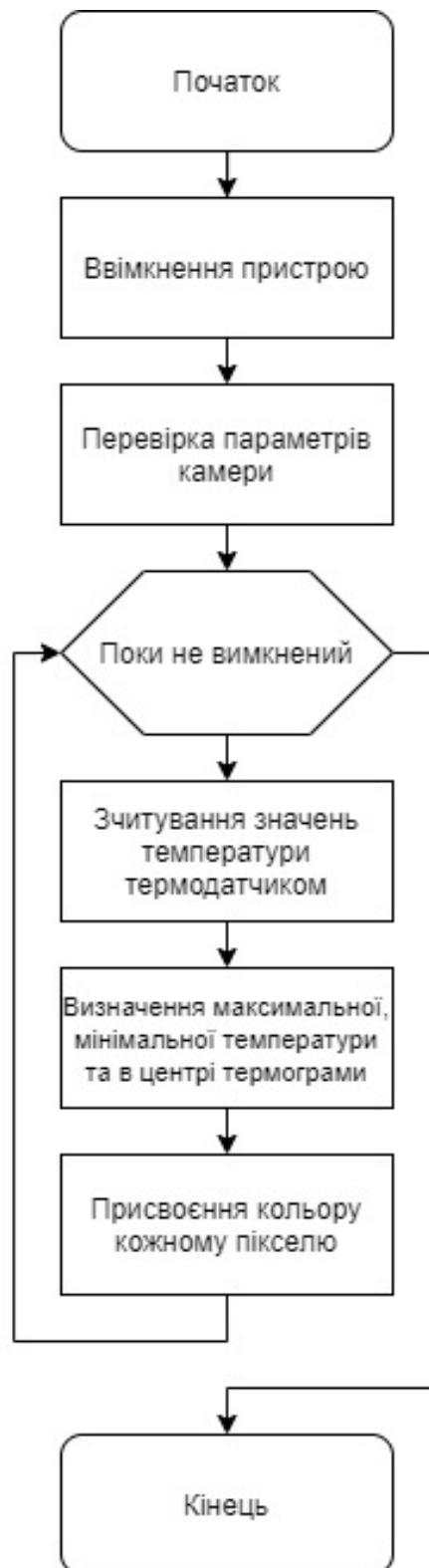
1. Баранюк В.В. Тепловий сканер для визначення тепловтратних зон у будівлі. *Галицький коледж імені В'ячеслава Чорновола. Дні науки 2020* : збірник наукових тез: за матеріалами студентських наукових читань : Тернопіль: Навчально-виробнича майстерня редакційно-видавничих технологій Галицького коледжу імені В'ячеслава Чорновола, 2020. С. 124-126.
2. ESP32 Datasheet – Espressif Systems. *Espressif*: веб-сайт. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf (дата звернення: 14.04.2020).
3. Melexis Datasheet. *Melexis*: веб-сайт. URL: <https://www.melexis.com/-/media/files/documents/datasheets/mlx90371-datasheet-melexis.pdf> (дата звернення: 26.04.2020).
4. Описание шины I2C. *ООО “ИТТ Лтд”*: веб-сайт. URL: http://itt-ltd.com/reference/ref_i2c.html (дата звернення: 05.05.2020).
5. Професіональний тепловізор для енергоаудита HT-18. *1TopShop*: веб-сайт. URL: <https://1topshop.org.ua/p999426920-daniu-ruchnoj-termograf.html> (дата звернення: 22.02.2020).
6. Тепловізор для стройки, енергоаудита Xintest. *Prom*: веб-сайт. URL: <https://prom.ua/ua/p751311988-teplovizor-dlya-strojki.html> (дата звернення: 22.02.2020).
7. Тепловізор: як це працює – Енерго Х. *Енерго Х*: веб-сайт. URL: <https://energox.com.ua/energoaudyt/korysni-statti/ya-tse-pratsyuje/> (дата звернення: 20.02.2020).
8. Тепловізори в Україні: історія і перспективи. *КПІ ім. Ігоря Сікорського.*: веб-сайт. URL: <https://kpi.ua/imager> (дата звернення: 20.02.2020).

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

Додаток А1

Блок-схема роботи пристрою



Додаток А2

Блок-схема роботи шини I2C



Додаток Б

Програмний код

Лістинг Б1 – Файл MLX90640_I2C_Driver.cpp

```
#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>
#include "MLX_I2C_Driver.h"

void MLX_I2CInit()
{
}

int MLX_I2CRead(uint8_t _deviceAddress, unsigned int
startAddress, unsigned int nWordsRead, uint16_t *data)
{
    uint16_t bytesRemaining = nWordsRead * 2;
    uint16_t dataSpot = 0; //Start at beginning of array
    while (bytesRemaining > 0)
    {
        Wire.beginTransaction(_deviceAddress);
        Wire.write(startAddress >> 8); //MSB
        Wire.write(startAddress & 0xFF); //LSB
        if (Wire.endTransmission(false) != 0) //Do not release bus
        {
            Serial.println("No ack read");
            return (0); //Sensor did not ACK
        }
        uint16_t numberOfBytesToRead = bytesRemaining;
        if (numberOfBytesToRead > I2C_BUFFER_LENGTH)
            numberOfBytesToRead = I2C_BUFFER_LENGTH;
        Wire.requestFrom((uint8_t)_deviceAddress,
            numberOfBytesToRead);
        if (Wire.available())
        {
            for (uint16_t x = 0 ; x < numberOfBytesToRead / 2; x++)
            {
                //Зберігання даних в масив
                data[dataSpot] = Wire.read() << 8; //MSB
                data[dataSpot] |= Wire.read(); //LSB
                dataSpot++;
            }
        }
        bytesRemaining -= numberOfBytesToRead;
        startAddress += numberOfBytesToRead / 2;
    }
    return (0); //Success
}

void MLX_I2CFreqSet(int freq)
{
    //i2c.frequency(1000 * freq);
    Wire.setClock((long)1000 * freq);
}
```

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

int MLX_I2CWrite(uint8_t _deviceAddress, unsigned int
writeAddress, uint16_t data)

{
Wire.beginTransaction((uint8_t) _deviceAddress);
Wire.write(writeAddress >> 8); //MSB
Wire.write(writeAddress & 0xFF); //LSB
Wire.write(data >> 8); //MSB
Wire.write(data & 0xFF); //LSB
if (Wire.endTransmission() != 0)
{
Serial.println("Error: Sensor did not ack");
return (-1);
}
uint16_t dataCheck;
MLX_I2CRead(_deviceAddress, writeAddress, 1, &dataCheck);
if (dataCheck != data)
{
return -2;
}
return (0);
}

```

Лістинг Б2 – Функція отримання даних для термограми

```

int MLX_GetFrameData(uint8_t slaveAddr, uint16_t *frameData)

{
uint16_t dataReady = 1;
uint16_t controlRegister1;
uint16_t statusRegister;
int error = 1;
uint8_t cnt = 0;

dataReady = 0;
while(dataReady == 0)
{
error = MLX_I2CRead(slaveAddr, 0x8000, 1, &statusRegister);
if(error != 0)
{
return error;
}
dataReady = statusRegister & 0x0008;
}

while(dataReady != 0 && cnt < 5)
{
error = MLX_I2CWrite(slaveAddr, 0x8000, 0x0030);
if(error == -1)
{
return error;
}
error = MLX_I2CRead(slaveAddr, 0x0400, 832, frameData);
if(error != 0)

```

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

{
return error;
}

error = MLX_I2CRead(slaveAddr, 0x8000, 1, &statusRegister);
if(error != 0)
{
return error;
}
dataReady = statusRegister & 0x0008;
cnt = cnt + 1;
}

if(cnt > 4)
{
return -8;
}

error = MLX_I2CRead(slaveAddr, 0x800D, 1, &controlRegister1);
frameData[832] = controlRegister1;
frameData[833] = statusRegister & 0x0001;

if(error != 0)
{
return error;
}

return frameData[833];
}

```

Лістинг Б3 – Функція обрахування температури

```

void MLX_CalculateTo(uint16_t *frameData, const paramsMLX
*params, float emissivity, float tr, float *result)
{
float vdd,ta,ta4,taTr,gain,irDataCP[2];
float irData;
float alphaCompensated;
uint8_t mode, ilPattern,chessPattern;
int8_t pattern;
int8_t conversionPattern;
float Sx;
float To;
float alphaCorrR[4];
int8_t range;
uint16_t subPage;

subPage = frameData[833];
vdd = MLX_GetVdd(frameData, params);
ta = MLX_GetTa(frameData, params);
ta4 = pow((ta + 273.15), (double)4);
tr4 = pow((tr + 273.15), (double)4);
taTr = tr4 - (tr4-ta4)/emissivity;

```

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		


```

alphaCorrR[0] = 1 / (1 + params->ksTo[0] * 40);
alphaCorrR[1] = 1 ;
alphaCorrR[2] = (1 + params->ksTo[2] * params->ct[2]);

alphaCorrR[3] = alphaCorrR[2] * (1 + params->ksTo[3] * (params-
>ct[3] - params->ct[2]));

gain = frameData[778];
if(gain > 32767)
{
gain = gain - 65536;
}

gain = params->gainEE / gain;

mode = (frameData[832] & 0x1000) >> 5;

irDataCP[0] = frameData[776];
irDataCP[1] = frameData[808];
for( int i = 0; i < 2; i++)
{
if(irDataCP[i] > 32767)
{
irDataCP[i] = irDataCP[i] - 65536;
}
irDataCP[i] = irDataCP[i] * gain;
}
irDataCP[0] = irDataCP[0] - params->cpOffset[0] * (1 + params-
>cpKta * (ta - 25)) * (1 + params->cpKv * (vdd - 3.3));
if( mode == params->calibrationModeEE)
{
irDataCP[1] = irDataCP[1] - params->cpOffset[1] * (1 + params-
>cpKta * (ta - 25)) * (1 + params->cpKv * (vdd - 3.3));
}
else
{
irDataCP[1] = irDataCP[1] - (params->cpOffset[1] + params-
>ilChessC[0]) * (1 + params->cpKta * (ta - 25)) * (1 + params->cpKv *
(vdd - 3.3));
}
for( int pixelNumber = 0; pixelNumber < 768; pixelNumber++)
{
ilPattern = pixelNumber / 32 - (pixelNumber / 64) * 2;
chessPattern = ilPattern ^ (pixelNumber - (pixelNumber/2)*2);
conversionPattern = ((pixelNumber + 2) / 4 - (pixelNumber + 3) /
4 + (pixelNumber + 1) / 4 - pixelNumber / 4) * (1 - 2 * ilPattern);

if(mode == 0)
{
pattern = ilPattern;
}
else
{
pattern = chessPattern;
}
}

```

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

    }
    if(pattern == frameData[833])
    {
        irData = frameData[pixelNumber];
        if(irData > 32767)
        {
            irData = irData - 65536;
        }
        irData = irData * gain;

        irData = irData - params->offset[pixelNumber]*(1 + params-
>kta[pixelNumber]*(ta - 25))*(1 + params->kv[pixelNumber]*(vdd -
3.3));
        if(mode != params->calibrationModeEE)
        {
            irData = irData + params->ilChessC[2] * (2 * ilPattern - 1) -
params->ilChessC[1] * conversionPattern;
        }
        irData = irData / emissivity;

        irData = irData - params->tgc * irDataCP[subPage];

        alphaCompensated = (params->alpha[pixelNumber] - params->tgc *
params->cpAlpha[subPage])*(1 + params->KsTa * (ta - 25));

        Sx = pow((double)alphaCompensated, (double)3) * (irData +
alphaCompensated * taTr);
        Sx = sqrt(sqrt(Sx)) * params->ksTo[1];

        To = sqrt(sqrt(irData/(alphaCompensated * (1 - params->ksTo[1] *
273.15) + Sx) + taTr)) - 273.15;

        if(To < params->ct[1])
        {
            range = 0;
        }
        else if(To < params->ct[2])
        {
            range = 1;
        }
        else if(To < params->ct[3])
        {
            range = 2;
        }
        else
        {
            range = 3;
        }
        To = sqrt(sqrt(irData / (alphaCompensated * alphaCorrR[range]
* (1 + params->ksTo[range] * (To - params->ct[range])))) + taTr))
- 273.15;
        result[pixelNumber] = To;
    }}}

```

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лістинг Б4 – Функція отримання зображення

```

void MLX_GetImage(uint16_t *frameData, const paramsMLX *params,
float *result)
{
    float vdd;
    float ta;
    float gain;
    float irDataCP[2];
    float irData;
    float alphaCompensated;
    uint8_t mode;
    int8_t ilPattern;
    int8_t chessPattern;
    int8_t pattern;
    int8_t conversionPattern;
    float image;
    uint16_t subPage;

    subPage = frameData[833];
    vdd = MLX_GetVdd(frameData, params);
    ta = MLX_GetTa(frameData, params);
    gain = frameData[778];
    if(gain > 32767)
    {
        gain = gain - 65536;
    }

    gain = params->gainEE / gain;

    mode = (frameData[832] & 0x1000) >> 5;

    irDataCP[0] = frameData[776];
    irDataCP[1] = frameData[808];
    for( int i = 0; i < 2; i++)
    {
        if(irDataCP[i] > 32767)
        {
            irDataCP[i] = irDataCP[i] - 65536;
        }
        irDataCP[i] = irDataCP[i] * gain;
    }
    irDataCP[0] = irDataCP[0] - params->cpOffset[0] * (1 + params-
>cpKta * (ta - 25)) * (1 + params->cpKv * (vdd - 3.3));
    if( mode == params->calibrationModeEE)

    {
        irDataCP[1] = irDataCP[1] - params->cpOffset[1] * (1 + params-
>cpKta * (ta - 25)) * (1 + params->cpKv * (vdd - 3.3));
    }
    else
    {
        irDataCP[1] = irDataCP[1] - (params->cpOffset[1] + params-

```

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

    >ilChessC[0]) * (1 + params->cpKta * (ta - 25)) * (1 + params-
>cpKv * (vdd - 3.3));
    }
    for( int pixelNumber = 0; pixelNumber < 768; pixelNumber++)
    {
        ilPattern = pixelNumber / 32 - (pixelNumber / 64) * 2;
        chessPattern = ilPattern ^ (pixelNumber - (pixelNumber/2)*2);
        conversionPattern = ((pixelNumber + 2) / 4 - (pixelNumber + 3) /
4 + (pixelNumber + 1) / 4 - pixelNumber / 4) * (1 - 2 * ilPattern);
        if(mode == 0)
        {
            pattern = ilPattern;
        }
        else
        {
            pattern = chessPattern;
        }

        if(pattern == frameData[833])
        {
            irData = frameData[pixelNumber];
            if(irData > 32767)
            {
                irData = irData - 65536;
            }
            irData = irData * gain;

            irData = irData - params->offset[pixelNumber]*(1 + params-
>kta[pixelNumber]*(ta - 25))*(1 + params->kv[pixelNumber]*(vdd -
3.3));
            if(mode != params->calibrationModeEE)
            {
                irData = irData + params->ilChessC[2] * (2 * ilPattern - 1) -
params->ilChessC[1] * conversionPattern;
            }
            irData = irData - params->tgc * irDataCP[subPage];

            alphaCompensated = (params->alpha[pixelNumber] - params->tgc *
params->cpAlpha[subPage])*(1 + params->KsTa * (ta - 25));

            image = irData/alphaCompensated;

            result[pixelNumber] = image;
        }
    }
}

```

					ДП.КН 20.395.12.000 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВІДГУК
на дипломний проект
освітньо-кваліфікаційного рівня «молодший спеціаліст»
зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки та інформаційні
технології»

студента

Галицького коледжу імені В'ячеслава Чорновола

Баранюка Володимира

на тему «Тепловий сканер для визначення тепловтратних зон у будівлі»

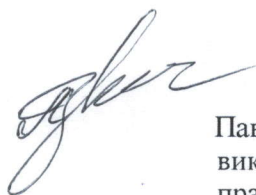
Дипломний проект присвячений вирішенню практичної задачі – реалізація портативного теплового сканера для визначення тепловтратних зон у будівлі. Поставлена задача є досить актуальною, оскільки використання такого сканера дозволяє якісніше визначати проблемні місця в будівлях з метою їх утеплення, однак наявні на ринку рішення наразі надто дорогі для пересічного споживача.

У процесі роботи над дипломним проектом автор добре вивчив предметну область, розібрався у сучасних технологіях та засобах реалізації мікроконтролерних систем на базі платформи Arduino. Вчасно і достатньо самостійно виконував план дипломного проектування. Зарекомендував себе як хороший спеціаліст у галузі розробки систем на основі мікроконтролерів ESP32.

Під час виконання плану дипломного проекту студент продемонстрував вміння використовувати відповідні навчальні та пізнавальні ресурси, вести пошук інформації в Інтернеті, ставити та вирішувати фахові завдання.

У цілому дипломний проект виконаний на належному для присвоєння відповідної фахової кваліфікації рівні.

Керівник дипломного проекту:



Павлюс В.П.,
викладач ЦК професійної та
практичної підготовки
спеціальності «Обслуговування
програмних систем і комплексів»

РЕЦЕНЗІЯ
на дипломний проєкт
студента відділення комп'ютерних та видавничих технологій
Галицького коледжу імені В'ячеслава Чорновола

групи К-47

_____ Баранюка Володимира.Володимровича. _____
(прізвище та ініціали)

Спеціальність 122,, *Комп'ютерні науки та інформаційні технології*"

Обсяг дипломного проєкту: 59 стор.

36 рисунків; 2 таблиці, 8 джерел, 2 додатки, 2 блок-схеми.

Тема: «Тепловий сканер для визначення тепловтратних зон у будівлі».

1. Актуальність теми

тепловізійні технології.відіграють велику роль в багатьох сферах людської життєдіяльності. На даний момент існують різні типи тепловізійних пристроїв, але всі вони ґрунтуються на одних і тих самих принципах роботи. Нерівномірність нагріву однієї і тієї ж поверхні дозволяє формувати картину розподілу температури на ній, асоціюючи колір на дисплеї з температурою.

2. Практична або теоретична цінність опрацьованих питань

Діагностики за допомогою тепловізійної камери може допомогти:

- візуалізувати втрати енергії;
- виявити відсутність або несправність ізоляції;
- джерело витоку повітря;
- знайти вологу в ізоляції;
- виявити цвіль і погано утеплені ділянки;
- виявити порушення в трубах для гарячої води;
- знайти несправності в лініях живлення та централізованого опалення;
- виявити електричні несправності

тепловий сканер справляється із своїм завданням, термограма оновлюється в реальному часі та відображає найгарячіші та найхолодніші температури сканованої поверхні.

3. Недоліки роботи _____ суттєвих недоліків не виявлено _____

4. Загальний висновок_ дипломний проєкт виконаний з дотриманням всіх вимог і заслуговує на оцінку «відмінно», а студент – присвоєння кваліфікації “техніка-програміста”

Рецензент _____ Посвятовська О.Б. _____
(прізвище та ініціали рецензента) .

викладач комп'ютерних дисциплін
Галицького коледжу імені В'ячеслава Чорновола

«25» ____ 06 ____ 2020р.

Ім'я користувача:
Наталя Кульчинська

Дата перевірки:
17.06.2020 16:38:26 EEST

Дата звіту:
16.02.2021 10:21:07 EET

ID перевірки:
1004103293

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

ID користувача:
100004382

Назва документа: ДП_Баранюк_K47_перевірка

Кількість сторінок: 43 Кількість слів: 6248 Кількість символів: 44219 Розмір файлу: 5.95 MB ID файлу: 1004115982

2.13% Схожість

Найбільша схожість: 2% з Інтернет-джерелом (<https://ua.all.biz/uk/teplovizor-dlya-energoaudytu-ht-18-g17631954>)

2.13% Джерела з Інтернету

5

Сторінка 45

Не знайдено джерел з Бібліотеки

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

3.41% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 0%)

1.38% Вилучення з Інтернету

36

Сторінка 46

3.41% Вилученого тексту з Бібліотеки

6

Сторінка 46