

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ,
МЕХАТРОНІКИ І РОБОТОТЕХНІКИ
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему:

**Комп'ютеризована система для вимірювання та контролю
витоків тепла з будівель**

Виконав: студент 4 курсу, групи МТ-4
спеціальності

152 Метрологія та інформаційно-
вимірювальної техніки

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Паливода Владислав Максимович ..

(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н., зав. каф. ІВТ

Подчашинський Ю.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Житомир 2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки

Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(назва і місце)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Метрології та
інформаційно-вимірювальної техніки
д.т.н., проф. Подчапинський Ю.О.

" 4 " квітня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Пашовді Владиславу Максимовичу

(прізвище, ім'я, по батькові, нагородні ступені,学位 (degree))

1. Тема роботи Комп'ютеризована система для вимірювання та контролю витоків
тепла з будівель

керівник роботи Подчапинський Ю.О., д.т.н., проф. зав. кафедри Інформаційно-
вимірювальних технологій

(прізвище, ім'я, по батькові, нагородні ступені,学位 (degree))

затверджені наказом вищого навчального закладу від "4" квітня 2025 року №131/с

2. Строк подання студентом роботи "10" червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи сканування об'єкту, вимикання/вмикання системи,
визначення теплового поля об'єктів, вивід вимірних значень витоків тепла об'єкту
на екран, вибір режиму відображення на екрані.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити) технічне завдання, огляд та аналіз існуючих визначення методів
теплового поля об'єктів, розробка структурної принципової схем, розробка програми
та алгоритму, конструкторська частина, обчислюнок надійності та точності системи

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових зреслень)

Структурна схема, принципова схема, блок-схема алгоритму та друкована плата

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 4	Подчашинський Ю.О., дтн, проф.		
5, 6, 7	Подчашинський Ю.О., дтн, проф.		

7. Дата видачі завдання 4.04.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломної роботи	Срок виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підготувати звіт про переддипломну практику	05.04.2025 – 11.04.2025	
2.	Збір літературних даних за темою дипломної роботи та відомих систем визначення теплового поля будинку	12.04.2025 – 20.04.2025	
3.	Ознайомитись з основними принципами побудови систем визначення теплового поля будинку	21.04.2025 – 23.04.2025	
4.	Розробка структурної схеми системи визначення теплового поля будинку	24.04.2025 – 27.04.2025	
5.	Розробка принципової схеми системи визначення теплового поля будинку	28.04.2025 – 30.05.2025	
6.	Вибір компонентів визначення теплового поля будинку	04.05.2025 – 10.05.2025	
7.	Розробка блок-схеми алгоритму та програми визначення теплового поля будинку	13.05.2025 – 30.05.2025	
8.	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	02.06.2025 – 09.06.2025	

Студент _____ В.М. Паливода
(Підпис) (Прізвище та ініціали)Керівник роботи _____ Ю.О. Подчашинський
(Підпис) (Прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему «Комп'ютеризована система для вимірювання та контролю витоків тепла з будівель» містить 71 сторінки, містить 17 рисунків, 4 таблиці, 8 формул та список із 23 джерел.

З метою обґрунтування актуальності теми проведено огляд існуючих рішень для виявлення та контролю теплових втрат. Визначено основні компоненти системи, розроблено структурну та принципову схеми. Обрано необхідну елементну базу та спроектовано друковану плату. Проведено аналіз точності температурних вимірювань та розраховано надійність системи. Обрано мікроконтролер, для якого створено алгоритм функціонування та відповідне програмне забезпечення.

Ключові слова: STM32, інфрачервоний температурний датчик, температурне поле будівлі.

ANNOTATION

Bachelor's qualification work on the topic "Computerized system for measuring and controlling heat leaks from buildings" covers 71 pages, contains 17 figures, 4 tables, 8 formulas and a list of 23 sources.

In order to substantiate the relevance of the topic, a review of existing solutions for detecting and controlling heat losses was conducted. The main components of the system were determined, a structural and schematic diagram was developed. The necessary element base was selected and a printed circuit board was designed. The accuracy of temperature measurements was analyzed and the reliability of the system was calculated. A microcontroller was selected, for which a functioning algorithm and appropriate software were created.

Keywords: STM32, infrared temperature sensor, temperature field of the building.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	8
1.1. Призначення та область застосування.....	8
1.2. Умови експлуатації	8
1.3. Технічні параметри системи.....	9
2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗИСНУЮЧИХ СИСТЕМ	11
2.1. Задачі, умови та правила проведення тепловізійної зйомки	11
2.2. Огляд та аналіз існуючих технічних рішень.....	14
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	21
3.1. Обґрунтування мікроконтролеру.....	22
3.2. Обґрунтування інфрачервоного датчика.....	24
3.3. Обґрунтування кнопок.....	26
3.4. Обґрунтування дисплею.....	28
3.5. Обґрунтування стабілізаторів.....	30
3.6. Обґрунтування світлової та звукової індикації.....	31
3.7.Обґрунтування блока живлення.....	32
3.8. Структурна схема.....	33
4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	34
4.1. Вибір мікроконтролеру.....	34
4.2. Вибір інфрачервоного датчика.....	36
4.3. Вибір кнопок.....	37
4.4. Вибір дисплея.....	38
4.5. Вибір стабілізаторів.....	40
4.6. Вибір світлової та звукової сигналізації.....	43
4.7. Вибір блока живлення.....	45
4.8. Побудова принципово-електричної схеми.....	47
4.9. Розрахунок визначення похибок температурного поля.....	51
5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ.....	53
5.1. Розробка алгоритму	53
5.2. Розробка програми.....	55
6. КОНСТРУКТОРЬСКА ЧАСТИНА.....	57
6.1.Розробка друкованої плати.....	57
6.2. Розрахунок надійності системи.....	61
7.ОХОРОНА ПРАЦІ.....	66
7.1.Охорона праці.....	66
7.2. Вимоги до експлуатації системи для вимірювання теплових втрат.....	67
ВИСНОВКИ.....	69
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	70
ДОДАТКИ.....	72

					МММТ 480.010.011 – ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Комп'ютеризована система для вимірювання та контролю витоків тепла з будівель Пояснювальна записка	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркшів</i>
<i>Розробив</i>		<i>Паливода В.М.</i>						
<i>Перевірив</i>		<i>Подчашинський Ю.О.</i>					5	71
<i>Рецензент</i>						ДУ «Житомирська політехніка», МТ-4		
<i>Н. контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Подчашинський Ю.О.</i>						

ВСТУП

Актуальність розробки. У сучасних умовах енергетичної кризи, зростання вартості енергоносіїв та посилення вимог до енергоефективності будівель надзвичайно актуальним є питання зменшення тепловтрат. Значна частина енергії, яка витрачається на обігрів приміщень, втрачається через недосконалу теплоізоляцію, що спричиняє не лише фінансові втрати, а й підвищене навантаження на енергетичну інфраструктуру та довкілля.

Створення комп'ютеризованої системи для вимірювання та контролю витоків тепла дозволяє виявляти проблемні ділянки будівель і оперативно реагувати на них шляхом проведення необхідних теплоізоляційних заходів. Такі системи забезпечують не лише зменшення витрат на опалення, а й сприяють покращенню загального комфорту в приміщеннях.

Розвиток мікроелектроніки, датчиків та засобів цифрової обробки інформації дає змогу створювати доступні, точні та зручні у використанні інструменти для теплового аналізу будівель. Тому розробка подібної комп'ютеризованої системи є важливою та своєчасною задачею як з науково-технічної, так і з практичної точки зору.

Метою роботи є розробка комп'ютеризовану систему для вимірювання та контролю витоків тепла з будівель, що забезпечує підвищену точність, надійність і зручність у використанні для виявлення зон теплових втрат.

Об'єкт дослідження є процеси вимірювання та контролю теплових втрат у будівлях з використанням електронних та комп'ютеризованих засобів.

Предмет дослідження є структура, принцип дії, програмне забезпечення та технічна реалізація комп'ютеризованої системи для моніторингу теплових витоків, зокрема інфрачервоні датчики, мікроконтролерна база та алгоритми обробки температурних даних.

Для виконання мети потрібно виконати такі **задачі**:

1. Провести аналіз та порівняння наявних систем, що призначені для вимірювання і моніторингу температурного поля будівель.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Обґрунтовати вибір основних компонентів системи та розроблено її структурну схему.

3. Здійснити підбір елементної бази та розроблено електричну принципову схему пристрою.

4. Виконати розрахунок похибок та аналіз точності температурних вимірювань у межах контрольованого об'єкта.

5. Спроекувати друковану плату та проведено оцінку надійності функціонування системи.

6. Розробити алгоритм роботи системи та створено програмне забезпечення для керування і обробки даних.

7. Розробити опис заходів з охорони праці, що враховують вимоги безпеки під час експлуатації та обслуговування системи.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1. Призначення та область застосування

Комп'ютеризована система для вимірювання та контролю витоків тепла з будівель призначена для оперативного виявлення зон підвищених тепловтрат, моніторингу температурного поля об'єктів у реальному часі, збору та аналізу даних про температурний розподіл, а також для підвищення енергоефективності будівель за рахунок своєчасного впровадження теплоізоляційних заходів.

Областю застосування комп'ютеризованої системи для вимірювання та контролю витоків тепла з будівель є житлові, громадські та промислові споруди, де важливо здійснювати енергоаудит, технічне обстеження стану теплоізоляції та моніторинг температурних параметрів. Система може бути використана підприємствами з енергосервісу, будівельними організаціями, комунальними службами, а також у наукових дослідженнях, пов'язаних з енергоефективністю.

1.2. Умови експлуатації

- Температурний діапазон експлуатації: від 0 °C до +85 °C;
- Відносна вологість: не більше ніж 60 % при температурі +25 °C;
- Атмосферний тиск: у межах 700–800 мм рт. ст.;
- Приміщення має бути сухим, без потрапляння опадів;
- Уникати прямого та відбитого сонячного світла на датчики та електронні компоненти;
- Оптимальний час для проведення вимірювань – ранок у холодний період року (осінь, зима);
- Можлива наявність хімічно активних речовин у повітрі (в межах допустимих концентрацій для електронного обладнання);

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Система повинна витримувати вібрацію, тряску та незначні удари під час експлуатації;
- Характер роботи: перервний режим;
- Напруга живлення системи: 5 В постійного струму.

1.3. Технічні параметри системи

Комп'ютиризована система для вимірювання та контролю витоків тепла з будівель повинна забезпечити рішення наступних завдань:

1. Увімкнення та вимкнення системи за допомогою кнопки або програмного сигналу;
2. Звукова індикація під час вмикання/вимикання для зручності користувача;
3. Регулярне опитування інфрачервоного датчика температури для збору актуальних даних;
4. Обробка отриманих температурних даних з урахуванням просторового розподілу температурного поля об'єкта;
5. Відображення теплового зображення на дисплеї з урахуванням температурної карти будівлі;
6. Можливість зупинки поточного зображення та його перегляду;
7. Збереження або копіювання теплових зображень з нанесеними температурними значеннями;
8. Програмне керування шкалами відображення: автоматичне масштабування або фіксація поточних параметрів;
9. Перемикання між палітрами кольорів для візуалізації температурних діапазонів;
10. Світлова індикація стану зарядки акумулятора або живлення системи;
11. Широкий кут огляду тепловізійної частини до 60°;

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Абсолютна похибка вимірювання температури не повинна перевищувати $\pm 1^{\circ}\text{C}$;

13. Частота оновлення теплового зображення не менше 10 кадрів за секунду для забезпечення реального часу.

Усі функціональні елементи комп'ютеризованої системи вимірювання будуть інтегровані в корпус типу Sanhe 20-22, зокрема: мікроконтролер, дисплей, інфрачервоний температурний датчик, червоний світлодіод, мікросхема стабілізації напруги, літій-іонний акумулятор із контролером заряду, дві тактові кнопки, звуковий динамік, роз'єм micro USB, шина типу PLS-5, а також допоміжні електронні компоненти — резистори, конденсатори, транзистори та діоди.

Розміри корпусу комп'ютеризованої системи вимірювання повинні складати (ДхШХВ)— 92х58х23 мм.

Напрацювання на відмову повинно бути не менше 15000 годин.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

2.1. Задачі, умови та правила проведення тепловізійної зйомки

Основним завданням теплобачення є безконтактний вимір температури, згідно з рівнем інфрачервоного випромінювання. Завдяки використанню цього приладу (рис.2.1) забезпечуються такі можливості:

- тепловізори здатні робити фіксацію температури, зміни її на об'єктах, за рахунок чого можна виявити несправність і виконати фіксацію проблем до моменту їх прояву;
- прилад дозволяє виявити місця витоків повітря, скупчення вологи та різні дефекти будови;
- при обстеженні виявляються місця несправностей в системах електро- і водопостачання, каналізації, завдяки чому є можливість провести ремонтні роботи виключно на ділянці, де локалізується несправність, без необхідності загального демонтажу підлогових і стінних покриттів.[1]



Рис.2.1. Безконтактний вимір теплового поля будинку

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Основні переваги тепловізійної діагностики :

- тепловим методом неруйнівного контролю надається можливість виявити наявність дефектів;
- запобігти вірогідності ушкодження устаткування і виникнення аварійних ситуацій;
- надані відомості відрізняються достовірністю і точністю;
- обстеження є повною мірою безпечним;
- немає необхідності відключати устаткування або проводити його демонтаж;
- в найкоротші терміни можливе проведення робіт великого об'єму;
- дефекти і недоліки можна визначити на найбільш ранніх стадіях.

За рахунок наявності зображення, в якому представлені точні дані про температуру, фахівець може отримати детальну інформацію відносно стану ізоляції і проникнення вологи всередину приміщення. Можна виявити несправності електричного устаткування, наявність теплових мостів, стан системи опалювання і вентиляції.

На рис.2.2. представлений приклад тепловізійної зйомки будинків, щитків та опалювальних пристроїв.



Рис.2.2.Приклади тепловізійної зйомки об'єктів

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Але в першу чергу, тепловізійна зйомка потрібна для того, щоб визначити, куди в будівлях і спорудах йде тепло. Найбільші тепловтрати здійснюються через вікна, зовнішні стіни, підлогу і дах. Слід використати метод не лише після утеплення будівлі, але і безпосередньо до початку робіт, щоб визначити причини проблеми.

У більшості випадків тепловізійне обстеження будівлі проводиться в декілька стадій:

1. Сканування безпосередньо усередині об'єкта. На цьому етапі досліджується не лише внутрішня система будівлі, але і кожна стіна окремо. Цей етап є дуже важливим, оскільки дає можливість визначити близько 90% усіх існуючих дефектів в приміщенні, у тому числі прихованих. У разі проведення внутрішнього тепловізійного сканування можливо також визначити існуючі зони перегрівання в системах електромережі, що дозволить в майбутньому запобігти вірогідності виникнення пожежонебезпечних ситуацій.

2. На стадії зовнішнього обстеження і проведення моніторингу об'єкту можливо виявити зони, в яких відзначається протікання покрівлі, інші недоліки або ушкодження конструкції. Також обстежується зовнішня поверхня об'єкту.

3. Далі проводиться аналіз і обробка отриманих результатів тепловізійної зйомки. Співробітники компанії, спираючись на показники, складають теплограми, за рахунок яких проводиться класифікація дефектів, визначається їх характер, рівень небезпеки безпосередньо для будівлі.

4. На фінальному етапі складаються рекомендації відносно усунення недоліків, після чого замовникові пропонується комплекс заходів, щоб оперативно їх усунути.

Далі слідує складання детального звіту, в який включаться підсумки діагностики і повний перелік усіх недоліків, що були виявлені. За підсумками проведеної перевірки замовникам видається на руки технічний звіт встановленого зразка, який містить:

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- дані про виконавця, який здійснював тепловізійне обстеження і копії необхідної документації;
- технічне завдання і детальний опис самого об'єкта, перевірка якого проводилася;
- теплопрограми, в яких вказані виявлені теплові аномалії;
- вкладиші до енергетичного паспорта;
- теплотехнічні розрахунки відносно об'єкта проведених досліджень;
- підсумки і висновки фахівців з детальним описом дефектів і тепловтрат;
- документація на компанію і безпосередньо на експерта, що проводить перевірку.

В результаті проведення перевірки можна усунути усі виявлені недоліки, за рахунок чого мінімізувати тепловтрати будівлі. Завдяки цьому є можливість надалі економити значні суми грошових коштів на оплату опалювання приміщень. [2]

2.2.Огляд та аналіз існуючих технічних рішень

Професійний ІЧ тепловізор UNI-T UTi120S (рис.2.3). Високоточний професійний інфрачервоний тепловізор UNI-T UTi120S призначений для проведення тепловізійної розвідки, огляду та виявлення витоків тепла та детального аналізу тепловтрат. Прилад має широку сферу застосування як у будівельній сфері, так і у галузях ремонту будівель, автомобілів, радіоелектронної техніки, а також діагностики холодильного та вентиляційного обладнання.

Ключовими особливостями даної моделі є високорівневий захист корпусу пристрою від пилу, бризок і падінь, вбудований ємний акумулятор, висока роздільна здатність інфрачервоного променя, широкий діапазон вимірюваних температур, збереження на карту пам'яті знятих термічних фотозображень, а також можливість підключення до ПК для перегляду і аналізу відзнятого матеріалу.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 2.3. Професійний ІЧ тепловізор UNI-T UTi120S

Технічні характеристики тепловізора UNI-T UTi120S:

- TFT-дисплей з діагоналлю 2.4" і роздільною здатністю 320x240 пікселів;
- Діапазон вимірюваних температур: від -20 до + 400 °С;
- Інфрачервоне розширення (ГхВ): 120 x 90;
- Термічна чутливість: < 60 мК;
- Поле видимості (FOV): 50° по горизонталі і 38° по вертикалі;
- Просторове розширення: 7.6 мрад;
- Необмежений фокус;
- Налаштовувана здатність випромінювання: 0.01 – 0.99;
- Вбудований лазерний вказівник цілі (II клас);
- Ширина смуги інфрачервоного спектру: 8-14 мкм;
- Розмір пікселя: 17 мкм;
- Частота кадрів: 25 Гц;
- Точність вимірювання: $\pm 2^{\circ}$;

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Автоматичне захоплення найбільш низької / високої температури;
- Звукова і світлова індикація про перевищення температури;
- Ступінь захисту корпусу: IP54 (заявлений захист від падінь з висоти до 2 м);
- Вбудоване LED-підсвічування;
- Отвір 1/4" для встановлення на штатив;
- 6 вбудованих кольорових палітр (2 з яких чорно-білі) для зручності відображення;
- Функція зйомки термічних фотозображень на SD-карту в форматі bmp;
- Спеціалізоване ПЗ для аналізу отриманих зображень на ПК (посилання на завантаження ПЗ);
- Мови інтерфейсу пристрою: англійська, китайська;
- Час автономної роботи: до 9 годин;
- Живлення: вбудований акумулятор типу 18650, ємністю 2600 мАг. Зарядка через роз'єм USB Type-C, час заряджання – не більше 2.5 годин;
- Матеріал корпусу: якісний протиударний ABS-пластик;
- Розміри: 19.5 x 5.6 x 6.5 см;
- Вага: 310 г;
- Комплектація: тепловізор UNI-T UTi120S, карта пам'яті MicroSD на 16 ГБ, кабель USB Type-C для заряджання пристрою і передачі даних, а також інструкція англійською і китайською мовами.[3]

Портативний тепловізор НТ-А10 представлений на рис.2.4. Тепловізор НТ-А10 НТІ – це універсальний інструмент, призначений для широкого спектра застосувань: від промислових інспекцій до активного відпочинку на природі. Завдяки інфрачервоному датчику високої роздільної здатності, Wi-Fi та тривалому часу роботи від акумулятора, НТ-А10 забезпечує виняткові тепловізійні можливості. У цьому огляді ми детально розглянемо ключові особливості та технічні характеристики НТ-А10.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 2.4. Портативний тепловізор HT-A10

Технічні характеристики тепловізора HT-A10:

- Дисплей: 3,5-дюймовий TFT-екран із повним оглядом;
- Інфрачервоне розширення зображення: 256×192;
- Діапазон вимірювання температури: від -20 °С до 550 °С;
- Точність вимірювання: ± 2 °С або $\pm 2\%$ (для -15 °С до 550 °С), ± 4 °С (для -20 °С до -15 °С);
- Кут огляду: $56^\circ \times 42^\circ$;
- Фокусна відстань: 3,2 мм;
- NETD: ≤ 50 мК при 25 °С, F/1,0;
- Частота кадрів: 25 Гц;
- Фокусування: фіксоване;
- Діапазон довжин хвиль: 8-14 мкм;
- Емісивність: регульована від 0,01 до 1,00;
- Кольорові палітри: веселка, залізо, холодні тони, білий гарячий, чорний гарячий;
- Розширення екрану: 640×480;

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Формати збереження зображень/відео: JPG/MP4;
- Ємність пам'яті: вбудована пам'ять 8 ГБ (доступно 6,6 ГБ);
- USB: Type-C;
- Живлення: вбудований акумулятор 26650;
- Час роботи: ≥ 4 години;
- Налаштування: одиниці вимірювання, мова, дата, час, інформація;
- Мова: англійська, китайська, італійська, німецька;
- Автоматичне вимкнення живлення: вибір між 5 хвилин/20 хвилин/без автоматичного вимкнення;
- Розмір пристрою: 255,4 мм $\times$ 122,1 мм $\times$ 97,2 мм;
- Вага: 588 г;
- Робоча температура: від 0 °C до 45 °C;
- Температура зберігання: від -20 °C до 60 °C;
- Відносна вологість: $< 85\% \text{ RH}^\circ$.[4]

Тепловізор Nti HT-03 (рис.2.5). Тепловізор HT-03 призначений для енергоаудиту, визначення локації витоку теплової енергії всередині і зовні приміщення, перевірки справності електронних збірок і рівня якості теплової ізоляції, діагностики функціонування систем кондиціонування, двигунів, холодильного обладнання.



Рис. 2.5. Тепловізор Nti HT-03

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Технічні характеристики тепловізора Hti HT-03:

- Дисплей: 2.8 дюйма, повноколірний екран.
- Роздільна здатність інфрачервоного зображення: 120x90.
- Загальна кількість пікселів: 35200.
- Кут огляду / найкоротша фокусна відстань: $26 \times 19^\circ / 3,2 \text{ мм}$.
- Термічна чутливість: 0.15° С .
- Режим вимірювання: вимір температури в інфрачервоній фокальній площині.
- Діапазон робочих температур: $-20 \sim 550^\circ \text{ С}$
- Точність вимірювання: $\pm 2^\circ \text{ С} / \pm 2\%$
- Діапазон довжини хвилі: від 8 до 14 мкм.
- Частота зображення 25 Гц
- Коефіцієнт емісії: регулюється від 0,1 до 1.
- Режим фокусування: фіксований.
- Колірна палітра: Веселка, червоний оксид заліза, холодний колір, чорно-білий, біло-чорний
- Збереження зображень: карта пам'яті на 4 Гб.
- Формат файлів: JPG.
- Налаштування функцій: налаштування одиниць виміру / мови / часу / дати / формату / автоматичного відключення.
- Джерело живлення: 4 лужні батареї типу ААА напругою 1,5 В.
- Температура експлуатації: від 0 до 50° С .
- Температура зберігання: від -40 до 70° С .
- Відносна вологість – $10\% \text{ RH} \sim 85\% \text{ RH}$
- Опір вібрації: 2 м, ІЕС 60068-2-6.
- Габаритні розміри: 96*72*226мм.
- Вага: 375 г.
- Гарантія 1 рік. [5]

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Існуючі моделі тепловізорів, зокрема UNI-T UTi120S, HT-A10 та HT-03, хоча й мають достатню функціональність для загального теплового аналізу, не повністю задовольняють вимоги, що висуваються до системи точного контролю витоків тепла в будівлях.

Модель UNI-T UTi120S позиціонується як професійний пристрій, однак має порівняно низьку роздільну здатність інфрачервоної матриці (120×90), що обмежує деталізацію зображення при локалізації незначних теплових аномалій. Попри високу чутливість, вона не підтримує запис відео, а передбачене збереження лише у форматі BMP ускладнює подальший аналіз даних. Корпус досить масивний для портативного використання.

Тепловізор HT-A10 має вищу роздільну здатність (256×192) і підтримку збереження відео, що робить його придатним для ширшого кола завдань. Проте значні розміри, вага майже 600 грамів і відносно короткий час автономної роботи (до 4 годин) знижують зручність при використанні в умовах тривалих енергоаудитів. Його функціональність більше орієнтована на загальнопромислове застосування, а не вузькоспеціалізоване дослідження тепловтрат.

Модель HT-03, у свою чергу, є бюджетним варіантом і має найнижчу серед розглянутих теплову чутливість (150 мК), що значно зменшує її ефективність при пошуку малопомітних теплових витоків. Невеликий кут огляду (26°×19°), живлення від змінних батарейок типу ААА та базові функції лише частково відповідають технічним потребам будівельної термографії.

Усі три пристрої мають низку обмежень — чи то у функціональності, чи у фізичних параметрах або умовах експлуатації. Саме тому виникає потреба у створенні власної комп'ютеризованої системи, яка буде адаптована до специфічних умов вимірювання тепловтрат будівель. Така система передбачає високу чутливість, компактність, точність до ± 1 °С, налаштовану кольорову палітру, енергоефективність та гнучке управління, що дозволить забезпечити повноцінний енергоаудит у польових умовах із мінімальними витратами ресурсів.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

Комп'ютиризована система повинна забезпечити рішення наступних завдань:

- Включення/виключення системи;
- Звукова індикація при включенні/виключенні системи;
- Опитування датчика температури;
- Обробка даних картинки з врахуванням теплового поля;
- Вивід зображення з врахуванням теплового поля на дисплей;
- Перегляд та зупинка поточної картинки;
- Копіювання картинки з обчисленими даними температури;
- Програмний вибір шкал: автоматичний, фіксування поточного;
- Переключення видів палітри;
- Світлова індикація при зарядці комп'ютеризованої системи.

Для виконання перерахованих завдань системи контролю та вимірювання температури будинку необхідно використати такі складові;

1. Мікроконтролер для управління вимірювальною системою в цілому;
2. Інфрачервоний датчик температурного поля об'єкту для вимірювання температури частин будинку;
3. Дисплей графічний для відображення картини з визначеними значеннями температури;
4. Кнопки для керування системою: включення/виключення та переключення режимів;
5. Динамік для звукової індикації включення/виключення системи;
6. Зелений світлодіод для світлової індикації зарядки вимірювальної системи;
7. Стабілізатори напруги для врівноваження напруг в системі;
8. Блок живлення в вигляді акумулятора літій-іонного на 5В та micro usb роз'єм для зарядки системи від мережевого адаптеру чи комп'ютера.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1. Обґрунтування мікропроцесору

Серед найпоширеніших сучасних мікропроцесорних платформ на ринку електроніки виділяють рішення компаній Microchip (PIC), Atmel/Microchip (AVR) та STMicroelectronics (STM). Для розробки комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю витоків тепла необхідно обрати мікропроцесор, який здатен працювати у режимі реального часу, підтримувати точну обробку даних з температурних датчиків, мати зручну систему програмування та бути надійним в умовах змін зовнішнього середовища.

До основних критеріїв вибору відносяться:

- підтримка роботи в реальному часі;
- висока надійність та стабільність;
- доступність на ринку та широка документація;
- електромагнітна стійкість (ЕМС);
- простота інтеграції у систему з периферійними компонентами;
- підтримка розповсюджених мов програмування (C/C++, MicroPython).

З метою обґрунтованого вибору доцільно порівняти основні технічні характеристики мікропроцесорів у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Порівняльна таблиця параметрів відомих мікропроцесорів

Характеристика	PIC (Microchip)	AVR (Atmel)	STM32 (STMicroelectronics)
1	2	3	4
Архітектура	8/16/32 біт	8 біт	32 біт (ARM Cortex-M)
Тактова частота	до 64 МГц	до 20 МГц	до 480 МГц
Оперативна пам'ять (RAM)	до 2 КБ	до 4 КБ	до 512 КБ
Flash-пам'ять	до 256 КБ	до 256 КБ	до 2 МБ
Робота в реальному часі	Обмежено	Частково	Так
Перешкодостійкість	Середня	Низька	Висока
Доступність на ринку	Середня	Середня	Висока

1	2	3	4
Простота програмування	Помірна	Висока	Висока (STM32CubeIDE)
Додаткові інтерфейси (I2C, SPI, USART, ADC)	Обмежено	Обмежено	Широкий набір
Ціна	Середня	Дешева	Помірна / доступна
Характеристика	PIC (Microchip)	AVR (Atmel)	STM32 (STMicroelectronics)

З табл.3.1 можна зробити висновок, що всім вимогам задовольняють мікропроцесори SMT.

Ураховуючи всі технічні параметри, можливості розширення, підтримку сучасних периферійних пристроїв та зручність програмування, оптимальним вибором для даної системи є мікропроцесор серії STM32. Його 32-бітна архітектура ARM Cortex-M забезпечує високу продуктивність та точність обробки температурних даних, а розвинуте середовище розробки STM32CubeIDE спрощує написання та налагодження програмного забезпечення. Доступність великої спільноти розробників, документації та прикладів також є суттєвою перевагою для реалізації надійної та енергоефективної системи.

Мікроконтролери STM (STMicroelectronics) — це потужна лінійка вбудованих рішень на базі архітектури ARM Cortex-M, яка включає серії STM32F, STM32L, STM32G, STM32H та інші. Ці мікроконтролери широко застосовуються в побутовій електроніці, медичних приладах, промисловій автоматизації, системах IoT і, зокрема, у системах моніторингу та керування.

Основні переваги мікроконтролерів STM:

- Висока продуктивність: тактова частота до 480 МГц (залежно від серії);
- Широкий вибір периферії: підтримка ADC, I2C, SPI, UART, USB, CAN, DAC тощо;

- Гнучкість енергоспоживання: моделі з ультранизьким споживанням;
- Надійність у промислових умовах: стійкість до електромагнітних перешкод, розширений температурний діапазон;
- Зручне середовище розробки: безкоштовна IDE (STM32CubeIDE), бібліотеки HAL/LL, підтримка CMSIS.[6]

Серед усіх серій STM, STM32F є найкращим вибором для розробки портативної, надійної та енергоефективної системи вимірювання температури. Ця серія забезпечує баланс між продуктивністю, енергоспоживанням і функціональністю.

Серія STM32F1 (наприклад, STM32F103) – це класичний вибір для задач середньої складності з широким набором периферії. Вона підтримує точну обробку даних з ІЧ-датчиків, виведення на дисплей, роботу з пам'яттю та звукову/світлову індикацію. Серії STM32F4/F7 надають ще вищу продуктивність, що корисно при обробці зображень теплового поля або роботі в реальному часі з графікою.

STM32F також мають достатню кількість портів введення/виведення, що дозволяє інтегрувати сенсори, кнопки, індикатори, а також підключити зовнішню пам'ять або модуль зв'язку.

Використання мікроконтролера STM32F дозволяє створити стабільну, точну та зручну для користувача комп'ютеризовану систему для моніторингу теплових втрат. Завдяки широким можливостям налаштування, доступній документації та активній спільноті розробників, ця платформа є ідеальною для реалізації функціоналу, який виходить за межі типових комерційних тепловізорів.

3.2. Обґрунтування інфрачервоного датчика

Одним із ключових елементів комп'ютеризованої системи для вимірювання та контролю витоків тепла є інфрачервоний температурний датчик.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Саме цей компонент відповідає за безконтактне вимірювання температури поверхонь та формування температурного профілю об'єкта.

При виборі ІЧ-датчика враховуються такі параметри: діапазон температур, точність, чутливість (NETD), час відгуку, підтримка цифрових інтерфейсів, а також стабільність роботи в різних умовах навколишнього середовища.

Тепловізійна камера є складовим елементом системи, що забезпечує візуалізацію температурного розподілу на поверхні об'єкта. Її основним функціональним ядром виступає інфрачервоний датчик, який безпосередньо вимірює інтенсивність теплового випромінювання в інфрачервоному діапазоні, зазвичай від 8 до 14 мкм.

У тепловізійних камерах, таких як ваша комп'ютеризована система, ІЧ-датчик (наприклад, AMG8833) виконує роль сенсорної матриці, яка фіксує температуру в кожній з комірок (пікселів) зображення. Отримані цифрові значення температур передаються до мікроконтролера (STM32), де обробляються за допомогою відповідного алгоритму. Ці дані потім трансформуються у псевдокольорове теплове зображення, яке виводиться на дисплей.

Таким чином, інфрачервоний датчик є сенсорною складовою тепловізійної камери, а сама камера — це комплексна система, що поєднує сенсор, обчислювальний модуль, джерело живлення, інтерфейси управління, систему індикації та, у разі потреби, модуль збереження/передачі даних.

Без ІЧ-датчика тепловізійна камера не зможе виконувати своє основне завдання — реєстрацію температурного поля. Водночас сам по собі інфрачервоний сенсор без обробки та виводу даних не забезпечує користувачу візуальної інформації. Саме тому ці компоненти — взаємодоповнювані й працюють у тісному технічному зв'язку.

З цієї метою обрано інфрачервоний матричний датчик AMG8833 від Panasonic, який поєднує високу надійність, енергоефективність і зручність інтеграції в мікропроцесорну систему.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

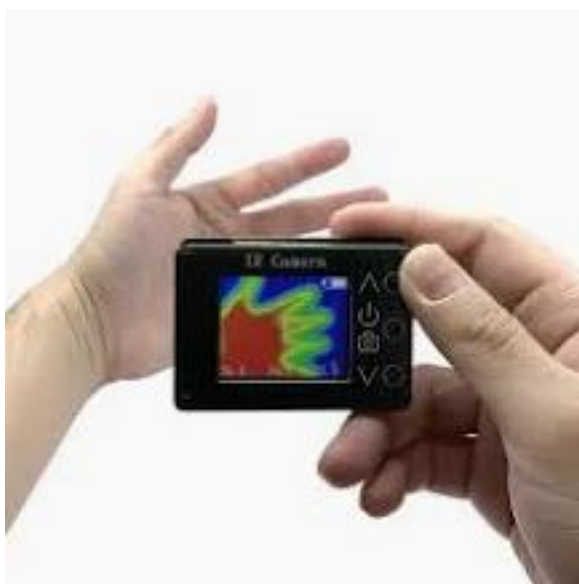


Рис. 3.1.Зображення в інфрачервоному спектрі руки за допомогою тепловізійної камери

AMG8833 має нижчу роздільну здатність порівняно з деякими сучасними тепловізійними модулями, він є оптимальним вибором за критерієм “ціна-функціональність” для проєктів, де важливе розпізнавання загального температурного фону, а не детальна термографія.

Інфрачервоний сенсор AMG8833 повністю задовольняє вимоги до вашої системи як у частині технічних характеристик, так і з погляду доступності, споживання енергії та простоти вбудування. У поєднанні з мікроконтролером STM32, цей модуль забезпечить точне зональне вимірювання температури, що дасть змогу ефективно ідентифікувати області теплових втрат у будівлях.[7]

3.3. Обґрунтування кнопок

У комп’ютеризованій системі вимірювання та контролю витоків тепла реалізовано інтуїтивно зрозуміле управління за допомогою двох тактових кнопок, які забезпечують взаємодію користувача з пристроєм. Основне призначення кнопок полягає в увімкненні/вимкненні системи, а також у виборі та перемиканні між режимами її роботи.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Верхня кнопка відповідає за керування відображенням теплового зображення: коротке натискання дозволяє запускати або зупиняти оновлення поточної картини в реальному часі, що дає змогу користувачу сфокусуватись на конкретному зображенні. Утримання цієї ж кнопки викликає функцію збереження (копіювання) теплового зображення разом із температурною шкалою та палітрою, що діє на момент фіксації. Картинка записується у нижню зону пам'яті пристрою для подальшого перегляду або обробки.

Нижня кнопка використовується для перемикання режимів температурної шкали. Кожне коротке натискання змінює режим за циклом: автоматичне масштабування, фіксація поточного діапазону, фіксований режим $+16...+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ та розширений фіксований режим $-5...+80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Утримання нижньої кнопки вмикає або вимикає всю систему, ініціюючи живлення або завершення роботи пристрою.

Для більш гнучкого управління реалізовано функцію одночасного утримання обох кнопок – при цьому відбувається перемикання палітр кольорів для теплового зображення, що дозволяє краще адаптувати візуальне сприйняття до конкретних умов діагностики.

Також система оснащена режимом енергозбереження: після кількох хвилин бездіяльності екран затемнюється. Перше натискання на будь-яку кнопку в цьому стані не активує функцію, а лише виводить підсвічування на повну яскравість. Лише друге натискання викликає безпосередню дію, що запобігає випадковому спрацюванню після тривалого очікування.

Це рішення забезпечує просте, але ефективне управління всіма основними функціями пристрою без потреби у складному меню або сенсорному інтерфейсі, зберігаючи при цьому компактність та зручність експлуатації.

Для комп'ютеризованої системи доцільно обрати тактові кнопки (Tactile Switch) з певними параметрами, які забезпечать надійність, зручність користування та електричну стабільність.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи функціональне навантаження, кнопки мають підтримувати як коротке натискання, так і утримання, без хибних спрацювань.

Тактові кнопки (або тактові перемикачі, англ. *tactile switches*) — це моментальні електромеханічні перемикачі, які замикають або розмикають електричний контакт тільки під час натискання. Після відпускання кнопки вона автоматично повертається у вихідне положення за рахунок внутрішньої пружини.

Основні характеристики тактових кнопок:

- Моментальна дія – кнопка не фіксується у натиснутому положенні.
- Компактні розміри – популярні формати: 6×6 мм, 12×12 мм.
- Простота монтажу – легко встановлюються на друковану плату.
- Дешевизна – це одні з найдоступніших елементів керування.
- Розраховані на десятки тисяч натискань – зносостійкі.
- Контакти зазвичай 4-нога, але працюють по 2 діагоналі.
- Потребують програмного усунення дрібних коливань контактів, яке легко реалізується в мікроконтролері. [8]

У комп'ютеризованій системі тепловізійного аналізу тактові кнопки будуть основним інтерфейсом користувача. Вони використовуватимуться для ввімкнення/вимкнення, зміни режимів шкали, палітр, а також збереження зображення. Завдяки своїй простоті й надійності, такі кнопки забезпечують тривалий строк служби та відсутність потреби в частому обслуговуванні.

3.4. Обґрунтування дисплею

Одним із ключових елементів комп'ютеризованої системи є дисплей, на якому відображається результат сканування температурного поля об'єкта. Візуалізація даних на дисплеї дозволяє користувачу оперативно реагувати на теплові аномалії та зручно спостерігати за процесом вимірювання у реальному часі.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На ринку існує декілька типів дисплеїв, які можуть бути використані в подібних системах:

– LCD (рідкокристалічні) прості, недорогі, з низьким енергоспоживанням, але обмеженим графічним функціоналом. Популярні моделі: LCD1602, LCD2004.

– OLED-дисплеї мають високу контрастність, невеликі розміри та чудову якість зображення. Проте коштують дорожче та мають обмеження в роботі при високих температурах.

– TFT/IPS-дисплеї повнокольорові екрани з графічним виводом, які підходять для складних інтерфейсів або відображення зображень. Вимагають більших ресурсів мікроконтролера та споживають більше енергії.

– E-Paper чудово читаються на сонці, економні, але повільні в оновленні – не підходять для динамічних зображень.

У складі комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю витоків тепла важливою є можливість наочної візуалізації температурного поля. Враховуючи необхідність відображення псевдокольорової термограми, температурних шкал, повідомлень та режимів роботи, для цього проекту обрано TFT-дисплей на базі контролера ILI9341.

TFT LCD-дисплеї — це тонкоплівкові транзисторні рідкокристалічні екрани, які підтримують повноцінне кольорове зображення з високою яскравістю та контрастністю. Контролер ILI9341 є одним із найпоширеніших чипів керування TFT-дисплеями роздільністю 240×320 пікселів, що забезпечує достатню чіткість для виводу графіки, тексту, шкал і температурних карт. [9]

На дисплеї буде виводитися результат сканування температурного поля об'єкта у вигляді кольорової мапи, температурні діапазони (легенда), а також значення температур у заданих точках. Крім того, інтерфейс забезпечить зміну палітри, шкал, режимів роботи, а також підтвердження дій користувача (наприклад, збереження зображення).

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.5. Обґрунтування стабілізаторів

Електронні компоненти, такі як STM32, дисплей ILI9341, AMG8833, мікросхеми живлення, мають суворі вимоги до живлення — зазвичай 3.3 В або 5 В. Будь-яке відхилення або шум на лінії живлення може спричинити збої в роботі, помилкові вимірювання, перезавантаження мікроконтролера або навіть вихід з ладу компонентів.

У системах з акумуляторним живленням, де напруга може змінюватись у широких межах (наприклад, від 4.2 В до 3.0 В при розряді Li-ion), стабілізатор є необхідною ланкою між акумулятором та логікою схеми.

Стабілізатори напруги – це електронні компоненти, які забезпечують постійну вихідну напругу, незалежно від коливань вхідної напруги чи навантаження. Вони є невід’ємною частиною будь-якої електронної системи, зокрема й вашої комп’ютеризованої системи вимірювання тепловтрат, оскільки забезпечують стабільну роботу мікроконтролера, датчиків та дисплея.

Стабілізатори напруги поділяються на два основні типи: лінійні та імпульсні. Лінійні стабілізатори працюють за принципом гасіння надлишкової напруги через перетворення її в тепло. Вони відзначаються простотою, низьким рівнем шуму та високою стабільністю, що робить їх зручними для живлення чутливих аналогових схем, датчиків і мікроконтролерів. Водночас їхній головний недолік — низький коефіцієнт корисної дії, особливо коли різниця між вхідною і вихідною напругою є суттєвою.

Імпульсні стабілізатори, або DC-DC перетворювачі, працюють на основі високочастотного перемикачання й здатні ефективно знижувати або підвищувати напругу з мінімальними втратами. Вони значно ефективніші за лінійні, особливо в системах із живленням від акумуляторів, де важлива енергоекономія. Імпульсні стабілізатори бувають типу "step-down" (понижувальні), "step-up" (підвищувальні) та "buck-boost" (комбіновані). Незважаючи на високу ефективність, вони можуть створювати електромагнітні перешкоди, що потребує додаткових фільтрів у схемі.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, вибір стабілізатора залежить від вимог до енергоспоживання, теплового режиму, габаритів, точності напруги та типу живлення. У вашій системі, наприклад, доцільно використовувати лінійний стабілізатор для стабільного живлення мікроконтролера, а для енергомістких компонентів — розглянути імпульсне рішення.[11]

Для забезпечення стабільної та безпечної роботи системи від акумулятора використовується спеціалізована мікросхема для контролю процесу заряджання. Вона регулює подачу струму, завершує заряд при досягненні необхідного рівня та захищає роз'єм живлення від перенавантажень. Для стабілізації вихідної напруги після акумулятора застосовується лінійний регулятор, а при зниженні напруги до критичних рівнів – підвищувальний перетворювач, який підтримує стабільну роботу пристрою.

Для живлення системи використовується акумулятор із можливістю зарядки через USB-роз'єм. Щоб забезпечити контроль процесу заряджання, а також захист USB-інтерфейсу від перевантажень, у схемі використовується спеціалізований контролер заряду. Він відповідає за правильну подачу струму, завершення заряду при досягненні максимального рівня та безпечну експлуатацію. Для стабілізації напруги після акумулятора застосовується лінійний регулятор, а у випадку зниження напруги – підвищувальний перетворювач, що гарантує стабільну роботу всієї системи.

3.6. Обґрунтування світлової та звукової індикації

Для оповіщення користувача в системі реалізовано звукову та світлову індикацію, які забезпечують зворотний зв'язок під час роботи пристрою. Звукове сповіщення виконується за допомогою п'єзоелектричного динаміка, підключеного до мікроконтролера. Його основна функція – подавати короткий звуковий сигнал при натисканні кнопок, що дозволяє користувачу швидко

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

отримувати підтвердження взаємодії без необхідності візуального контролю екрана.

Крім того, у системі передбачено візуальну індикацію процесу зарядки акумулятора. Для цього використовується зелений світлодіод, який активується під час підключення живлення через роз'єм mini USB. Під час зарядки світлодіод світиться зеленим кольором, що сигналізує про активний процес. Такий підхід забезпечує простий і зрозумілий контроль за станом акумулятора без потреби додаткових інтерфейсів.

Ці елементи індикації підвищують ергономічність пристрою, роблять його зручним для використання в польових умовах та зменшують ймовірність помилкових дій з боку користувача.

3.7.Обґрунтування блока живлення

Оскільки комп'ютеризована система призначена для вимірювання теплових втрат будівель у польових умовах, вона має працювати поза межами стаціонарного електроживлення, зокрема на відкритій місцевості або у віддалених зонах. У таких умовах підключення до мережі 220 В є технічно складним або повністю неможливим. Тому для забезпечення повної автономності система повинна працювати від вбудованого джерела живлення.

Оптимальним рішенням є використання літій-іонного акумулятора, який характеризується високою енергоємністю, компактністю, малою вагою та можливістю багаторазового циклічного заряджання. Такий тип живлення дозволяє забезпечити тривалу автономну роботу пристрою без втрати стабільності напруги.

Для зручності користувача заряджання акумулятора пропонується здійснювати через стандартний роз'єм micro USB, що дозволяє використовувати звичайні зарядні пристрої від смартфонів, павербанки або ноутбуки. Це рішення значно спрощує обслуговування та не потребує додаткових адаптерів, що особливо важливо в умовах мобільного використання.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, застосування акумуляторного живлення з зарядкою через USB забезпечує енергетичну незалежність, мобільність та зручність експлуатації системи у будь-яких умовах.

3.8. Структурна схема

Структурна схема комп'ютеризованої системи для вимірювання та контролю температурного поля будинку представлена на рис.3.2.

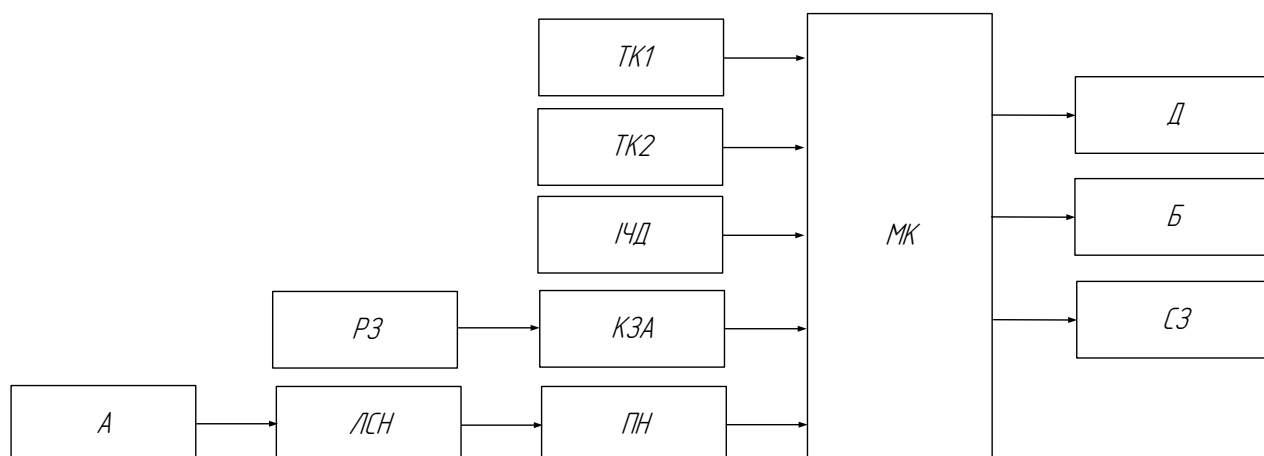


Рис.3.2. Структурна схема системи

Складові елементи структурної схеми наступні:

- ІЧД– інфрачервоний датчик камери;
- МК – мікроконтролер;
- Д – дисплей;
- Б – бузер;
- ТК1, ТК2 – тактова кнопка;
- А – акумулятор в вигляді Li on батарейки на 5В;
- СЗ – світлодіод зелений;
- ЛСН – лінійний стабілізатор напруги;
- ПН – перетворювач напруги;
- РЗ – роз’єм для зарядки micro usb;
- КЗА – контролер заряду акумулятора.

4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

4.1. Вибір мікроконтролера

В якості мікроконтролера для комп'ютеризованої системи для вимірювання та контролю витоків тепла з будівель було обрано мікропроцесор з серії STM32F10x.

Мікропроцесори сімейства STM32F10x – це одне з найбільш популярних сімейств 32-бітних мікроконтролерів компанії STMicroelectronics, побудоване на ядрі ARM Cortex-M3. Вони поєднують у собі потужність, енергоефективність і велику кількість периферійних пристроїв, що робить їх ідеальними для багатьох вбудованих застосувань.

Основні характеристики STM32F10x:

- Ядро: ARM Cortex-M3 (72 МГц);
- Flash-пам'ять: від 16 КБ до 1 МБ;
- ОЗП (SRAM): від 4 КБ до 96 КБ;
- Інтерфейси: USART, SPI, I2C, USB, CAN, ADC, DAC, TIM;
- Периферія: до 112 портів введення/виведення, DMA, RTC;
- Живлення: 2.0–3.6 В;
- Температурний діапазон: від -40°C до +85°C (або +105°C для деяких версій). [10]

Розташування пінів та цоколівка мікроконтролера STM32F101C6T6A представлені на рис.4.1-4.2.

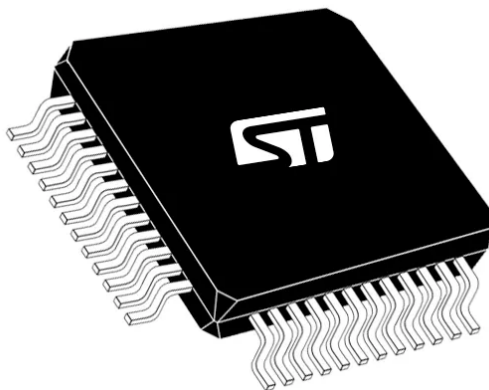


Рис.4.1. Мікроконтролер STM32F101C6T6A

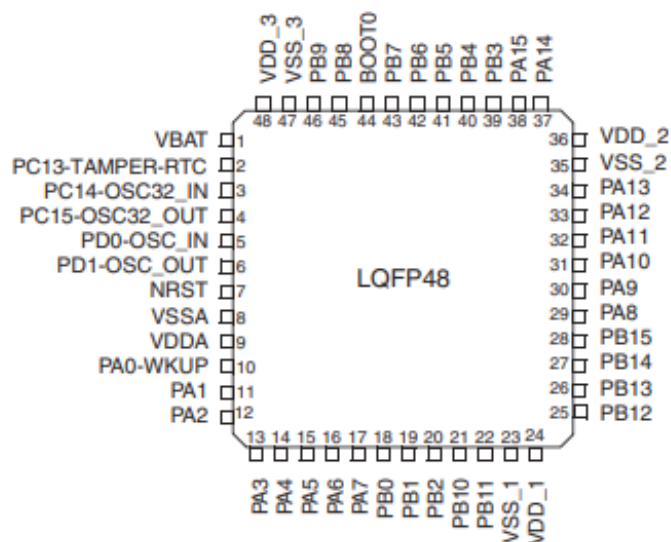


Рис.4.2. Розташування виводів STM32F101C6T6A

Мікроконтролер STM32F101C6T6A у пакеті LQFP-48 (7×7 мм):

- Компактний квадратний корпус із 48 тонкими ніжками (по 12 з кожної зі сторін), що призначені для поверхневого монтажу на платі.
- На верхній частині корпусу зазвичай вигравіювано логотип STMicroelectronics і маркування моделі.
- Завдяки тонким ніжкам корпус виглядає «пласким», злегка стихізованим, що добре видно на картинках із різних ракурсів.

Характеристики STM32F101C6T6A:

- Ядро ARM Cortex-M3, 36 MHz;
- Flash: 32 Кбайт;
- SRAM: 6 Кбайт
- Напруга живлення: 2.0 – 3.6 В;
- Пакет: 48-вивідний LQFP 7×7 мм;
- ADC: 12-біт, ~10 каналів;
- UART/SPI/I²C: 2 USART, 1 SPI, 1 I²C;
- Таймери: 2×16-біт;
- DMA: 7 каналів;
- Режими збереження живлення: сон/зупинка/очікування;
- Робоча температура: –40 ... +85 °C.[11]

4.2. Вибір інфрачервоного датчика

Для визначення теплового поля будинку потрібно застосувати інфрачервоний датчик, а саме використаємо модуль датчика AMG8833 (рис.4.3).



Рис.4.3. Модуль інфрачервоного датчика AMG8833

Інфрачервоний датчик камери AMG8833 – це матриця інфрачервоних теплових датчиків 8x8. При підключенні до мікроконтролера (або Raspberry Pi) він поверне набір із 64 окремих інфрачервоних показань температури через I2C. Це схоже на ті модні теплові камери, але воно компактне, просте та легко інтегрується. AMG8833 пропонує вищу продуктивність, ніж попередній AMG8831. Датчик підтримує лише I2C і має налаштовуваний контакт переривання, який можна активувати, коли будь-який піксель вище або нижче встановленого порогу.

Він може виявляти людей на відстані до 7 метрів (23) футів. Він ідеально підходить для створення власного детектора людини або міні-камери.

Засосовується для детекції присутності людей, підрахунок відвідувачів, «теплові карти». Відстеження температури обладнання, виявлення перегріву. Безконтактний контроль температури в індустрії, медицина, побутова автоматизація.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Технічні характеристики інфрачервоного датчика AMG8833 :

- Матриця: 8×8 пікселів (64 точки) інфрачервоної температури
- Діапазон вимірювання: 0 °C ... +80 °C ;
- Точність: ±2,5 °C (типова) ;
- Роздільна здатність: 0,25 °C ;
- Частота кадрів: до 10 Гц (мінімум 1 Гц);
- Поле зору: приблизно 60° по горизонталі та вертикалі;
- Дальність виявлення людини: до ~7 м (типово ≈5 м);
- Напруга: номінально 3,3 В (можливе живлення від 3,3...5 В на платі-брекаутері);
- I²C (до 400 кГц), 2 можливі адреси [12]

4.3. Вибір кнопок

В якості кнопок оберемо тактову кнопку Omron B3F-4005. Тактові кнопки (Tactile Switch) – надійні, компактні та зручні для інтеграції в портативну систему. рис.4.4.



Рис. 4.4. Кнопка тактова Omron B3F-4005

Технічні характеристики:

- Тип контактних груп: OFF-(ON);
- Довжина (L), мм: 12;
- Ширина (W), мм: 12;
- Висота (H), мм: 4.3;

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Висота основи (Носнов), мм: 3.5;
- Діаметр штоку (Dшток), мм: 7.1
- Робочий хід штоку (lроб), мм: 0.3;
- Зусилля натискання: 2.6N;
- Колір кнопки: жовтий;
- Тип монтування: ТНТ;
- Максимальна непереривна робоча DC напруга ($U_{max} (DC)$), В: 24;
- Максимальний струм (I_{max}), мА: 50. [12]

4.4. Вибір дисплея

В якості дисплея потрібно обрати дисплей сумісний з SMT32, тому було обрано TFT LCD дисплей на контролері ILI9341 рис.4.5-4.6.

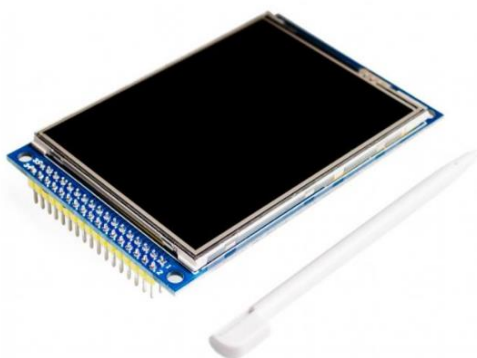


Рис. 4.5. Дисплей TFT LCD на контролері ILI9341



Рис. 4.6. Розташування пінів дисплея на контролері ILI9341

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У складі комп'ютеризованої системи для вимірювання та контролю витоків тепла з будівель застосовується TFT LCD-дисплей на контролері ILI9341. Цей дисплей забезпечує повнокольорову графічну візуалізацію з роздільністю 240×320 пікселів, що дозволяє якісно відображати температурне поле об'єкта у вигляді псевдокольорової термограми. Завдяки підтримці інтерфейсу SPI, дисплей легко інтегрується з мікроконтролером STM32, забезпечуючи швидке оновлення зображення, низьке енергоспоживання та зручність програмної реалізації. Такий вибір забезпечує зручний інтерфейс користувача та точне виведення результатів сканування у реальному часі.

Технічні характеристики дисплея:

- Діагональ екрана: 2.4 дюйма;
- Роздільна здатність: 240 × 320 пікселів;
- Кількість кольорів: 65 536 (16-біт, RGB565);
- Інтерфейс підключення: SPI (4-провідний), також підтримка паралельного 8/16-біт;
- Напруга живлення: 3.3 В (логіка і підсвітка);
- Тип підсвітки: світлодіодна (LED);
- Кут огляду: до 160°;
- Яскравість: 250–300 кд/м² (залежить від версії модуля);
- Час відгуку: ~10–20 мс;
- Тип керування: через регістри ILI9341 (ініціалізація, кольори, графіка);
- Робоча температура: від -20°C до +70°C;
- Формат даних: 16-біт (RGB565);
- Розміри модуля: приблизно 70 мм × 50 мм × 7 мм (залежить від плати). [13]

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.5. Вибір стабілізаторів

Для реалізації ефективного та безпечного живлення системи від літій-іонного акумулятора доцільно використати мікросхему MCP73831 (рис.4.7.), яка відповідає за контроль процесу заряджання. Цей компактний контролер заряду виконує стабільну подачу струму відповідно до заданого режиму (постійний струм – постійна напруга), автоматично завершує заряд після досягнення максимального рівня, а також забезпечує захист USB-інтерфейсу (mini USB) від перенавантажень і нестабільностей.



Рис.4.7. Зовнішній вигляд MCP73831

Технічні характеристики:

- Тип USB контролер заряду акумулятора;
- Робота з елементами живлення: Li-Ion, Li-Pol;
- Кількість осередків: 1;
- Вихідний струм (максимальний): 0.5 A;
- Вихідна напруга: 4.2 В;
- Напруга живлення: 3.75...6 В;
- Робоча температура: -40...+85(ТА) °С;
- Корпус: SOT-23-5;
- Вага: 0.08м.[14]

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для отримання стабільної вихідної напруги від акумулятора, яка в процесі розряду може змінюватися, застосовується лінійний стабілізатор LP2951CM. Він забезпечує стабільну напругу живлення чутливих цифрових компонентів, зокрема мікроконтролера та датчиків.

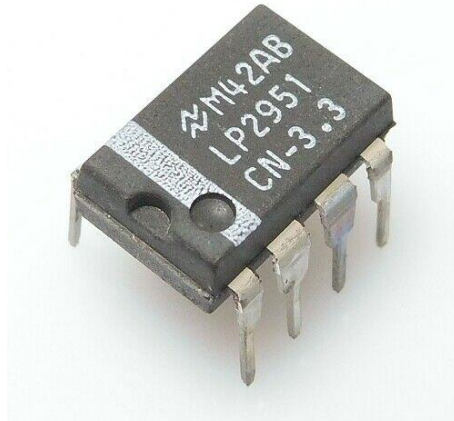


Рис.4.8. Зовнішній вигляд LP2951CM

Технічні характеристики:

- Максимальна робоча температура: +125 °C;
- Точність: $\pm 0.5\%$;
- Нестабільність у мережі: 0.1 %
- Довжина: 4.9мм;
- Кількість виходів: 1;
- Виробник: Texas Instruments;
- Полярність: Позитивний;
- Тип корпусу: SOIC;
- Нестабільність навантаження: 0.1 %;
- Тип монтажу: Поверхневий монтаж;
- Мінімальна робоча температура: -40 °C;
- Ширина: 3.9мм;
- Висота: 1.45мм;
- Тип виходу: Регульований;
- Кількість контактів: 8;

- Розміри: 4.9 x 3.9 x 1.45мм;
- Максимальна вхідна напруга: 30 В;
- Вихідна напруга: 1,24 → 29 В;
- Максимальний струм на виході: 100mA;
- Опорна напруга: 1.25В;
- Вага, г: 0.31.[15]

У випадках, коли напруга акумулятора падає нижче необхідного рівня, підсилювач напруги MCP1640 (рис.4.9-4.10) виконує функцію імпульсного підвищувального перетворювача (boost converter), дозволяючи підтримувати стабільну роботу пристрою навіть при глибокому розряді.

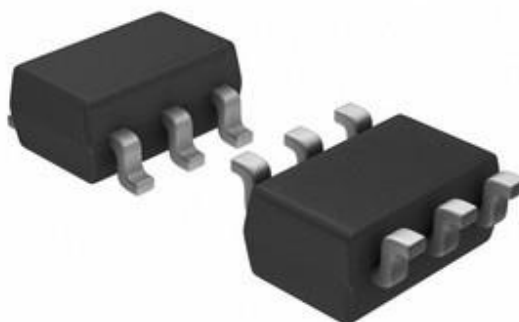


Рис.4.9– Зовнішній вигляд MCP1640

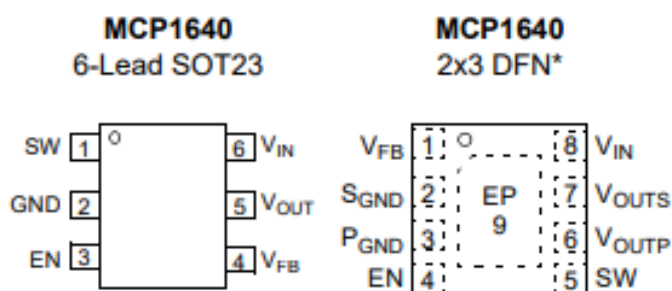


Рис.4.10– Позначення виводів MCP1640

Технічні характеристики:

- Вид монтажу: SMD/SMT;
- Вхідна напруга (макс.): 5.5 В;
- Вхідна напруга МІН: 350 mВ;
- Вихідна напруга: 2 В to 5.5 В;
- Вихідний струм: 350 mA;
- Категорія продукту: Імпульсні регулятори напруги;
- Кваліфікація: АЕС-Q100;
- Кількість виходів: 1 Output;
- Максимальна робоча температура: + 85 °С;
- Мінімальна робоча температура: 40 °С;
- Нестабільність вихідного навантаження: 0.01%;
- Підкатегорія: PMIC - Power Management ICs;
- Розмір фабричного упакування: 150;
- Тип: Switching Regulator;
- Тип продукту: Switching Voltage Regulators;
- Топологія: Boost;
- Торгова марка: Microchip Technology;
- Упаковка: Tube;
- Упаковка/блок: DFN-8;
- Частота перемикачів: 500 kHz.[16]

4.6. Вибір світлової та звукової сигналізації

Для нашої системи індикації зарядки пропоную практичний і доступний варіант стандартного зеленого світлодіода Kingbright WP7104SGC, який легко інтегрувати у схему з живленням 5 В або 3.3 В. Зелений світлодіод буде сповіщати про процес зарядку акумулятора через micro usb роз'єм.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.4.11. Зелений світлодіод Kingbright WP7104SGC

Цей світлодіод ідеально підходить для індикації зарядки акумулятора: яскраво світиться при низькому струмі, має довгий термін служби, компактний і легко доступний у більшості магазинів радіоелектроніки.

Технічні характеристики:

- Колір світіння: Зелений (Green);
- Тип корпусу: DIP, круглий, прозорий;
- Діаметр: 5 мм;
- Пряма напруга (VF): 2.1 В;
- Струм: номінальний 20 мА;
- Яскравість: 8–12 кд (видимий навіть при денному освітленні);
- Кут огляду: 60°;
- Температурний діапазон: -40°C ... +85°C;
- Монтаж: через отвір (ТНТ);
- Виробник: Kingbright [17].

При натисканні на кнопку необхідний звуковий оповіщувач. В якості звукового оповіщувача використаємо динамік HCM1206 рис.4.12.

Технічні характеристики:

- Потужність випромінювання: 75 дБ;
- Частота: 2,40 кГц;

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.4.12. Зовнішній вигляд бузера HCM1206X

- Номінальна напруга: 6 В;
- Струм номінальний: 40 мА
- Опір котушки: 45 Ом;
- Розмір: 12x9 мм;
- Тип: електромагнітний, із вбудованим генератором;
- Виробник: JL World (JLW);
- Вбудований генератор: немає.
- Діаметр: 12 мм [18]

4.7. Вибір блока живлення

Щоб визначитися в якості значення напруги живлення необхідно врахувати робочі напруги всіх скомпонетів в системі табл.4.1.

Для визначення параметрів живлення системи насамперед необхідно проаналізувати робочі напруги всіх компонентів, що входять до її складу. Як видно з аналізу табл. 4.1, мікроконтролер працює в діапазоні 2.0–3.6 В, тоді як інші елементи, а саме дисплей, інфрачервоний датчик, динамік та світлодіодна індикація потребують вищої напруги живлення, що може досягати 3.3–5 В.

Оскільки система призначена для мобільного використання і підключення до стаціонарної електромережі в більшості випадків буде неможливим, доцільно використовувати автономне джерело живлення.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1. Робоча напруга складових компонентів

Назва компоненту	Живлення
SMT32	2-3,6В
Інфрачервоний датчик AMG8833	3.3-5.5В
Дисплей TFT LCD	5В
Динамік HCM1206X	6В
Тактова кнопка	3.5-12В
Зелений світлодіод	2.1-2.3В
Лінійний регулятор LP2951CM	3.3 В
Підсилювач напруги MCP1640	6.5В
Контролер заряду акумулятора MCP73831	4.2В

У якості основного блока живлення обрано літій-іонний акумулятор, який забезпечує напругу близько 3.7–4.2 В у процесі роботи, але при цьому може заряджатися від джерела 5 В через роз'єм micro USB.

Для приведення цієї змінної напруги до стабільних рівнів, необхідних для різних компонентів системи, у схемі передбачено використання стабілізаторів напруги лінійних або імпульсних, залежно від конкретного вузла.

Як приклад джерела живлення використано Li-ion акумулятор типу NCR18650GA ємністю 3500 мА·год. Цей акумулятор забезпечує тривалий час автономної роботи пристрою та має достатній струмовий ресурс для підтримки роботи всіх підключених елементів. Його зовнішній вигляд наведено на рис. 4.13.



Рис. 4.15. Зовнішній вигляд акумулятора Panasonic NCR18650GA

Технічні характеристики:

- Тип елемента: 18650 без захисту, високострумний, високоємний;
- Маркування: Panasonic NCR18650GA Li-Ion 18650 3500 mAh 10A
- Ємність: номінальна – 3500 mAh, мінімальна – 3350 mAh.
- Напруга: мінімальна – 2,5В; номінальна – 3,6В; максимальна – 4,2В.
- Максимальний струм розряду: при постійному навантаженні – 10А;
- Струм заряду: стандартна зарядка – 1А;
- Вага: 48 р.
- Розмір: 18,5 мм x 65,3 мм;
- Виробник: Panasonic.[19]

4.8. Побудова принципово-електричної схеми

Принципова схема системи була побудована на основі технічних характеристик обраних компонентів, рекомендацій з даташитів виробників, а також з урахуванням функціональних вимог до пристрою. Конструкція враховує сумісність мікроконтролера з периферійними модулями, оптимальне живлення для кожного елемента та забезпечення зручного керування й індикації.

Принципова схема представлена на рис.4.16.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

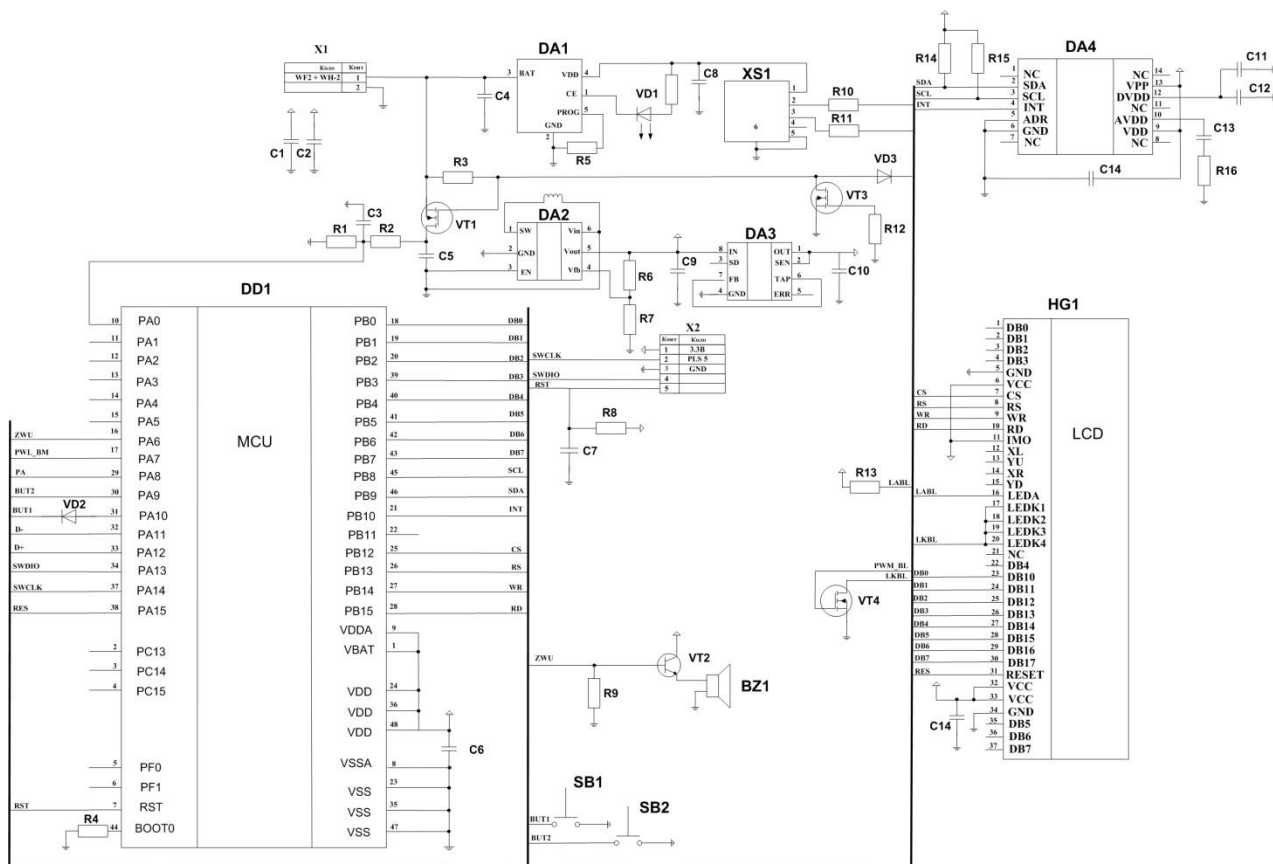


Рис. 4.16 – Електрична-принципова схема

Перелік елементів принципової схеми:

- DD1 – мікроконтролер STM32F303CBT;
- DA1 – стабілізатор напруги MCP73831-2;
- DA2 – пісилювач напруги MCP1640;
- DA3 – лінійний регулятор LP2951CM-3.3;
- DA4 – інфрачервоний датчик AMG8833;
- SB1,SB2 – тактова кнопка SMD 6x6 h2.7, 5pin;
- HG1 – LCD дисплей 320x240 FF24221-A;
- BZ1 – динамік HCM1206X;
- VT1 – IRLML6402;
- VT2 – BC847;
- VT3, VT4 – 2N7002;
- VD1– зелений LED_0805;

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МММТ 480.010.011 – ПЗ

Арк.

48

- VD2-VD3 – DL4148;
- R1, R2, R4,R8, R9, R12, R14, R15 –10 кОм;
- R5 – 4,7 кОм;
- R6 – 33кОм;
- R7 – 11кОм;
- R10, R11 – 33 Ом;
- R13, R16 – 20 Ом;
- C1, C2, C4,C6, C11, C12,C13, C15 –1 мкФ;
- C5, C8, C10, C14 – 10 мкФ;
- C3, C7 – 0,1 мкФ;
- C9 – 100 мкФ;
- XS1 – micro usb;
- X1 – роз’єм WF2 + WH-2 + обтиснуті дроти;
- X2 – роз’єм PLS-5.

Вимірювальна система побудована на базі 32-розрядного мікроконтролера з архітектурою ARM, який виступає центральним обчислювальним модулем пристрою. Він відповідає за керування всіма функціональними вузлами, обробку температурних даних, формування теплового зображення та взаємодію з користувачем.

До мікроконтролера підключено кольоровий TFT-дисплей з роздільною здатністю 320×240 пікселів та діагоналлю 2.4 дюйма. Передача даних до дисплея здійснюється через 8-бітну паралельну шину, що забезпечує високу швидкість оновлення зображення. Керування підсвічуванням дисплея реалізоване через ШІМ-сигнал, що дозволяє регулювати яскравість або активувати режим енергозбереження.

Інфрачервоний сенсор температури підключено до мікроконтролера через шину I2C відповідно до типового підключення згідно з документацією виробника. Він забезпечує періодичне зчитування температурного поля об’єкта та передачу отриманих даних для подальшої візуалізації.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підсистема живлення побудована на основі літій-іонного акумулятора, який заряджається через мікро USB-роз'єм за допомогою вбудованого контролера заряду. Зарядний модуль має зелений світлодіод, що сигналізує про активний процес зарядки. Для забезпечення живлення всіх вузлів передбачено лінійний стабілізатор, який знижує напругу з акумулятора до 3.3 В робочого рівня для мікроконтролера та сенсора. Підвищувальний перетворювач до 5 В може бути встановлений опціонально для оптимізації використання ємності акумулятора, однак практична потреба в ньому обмежена.

Для зчитування стану заряду використовується дільник напруги, розташований після комутаційного ключа, що дозволяє уникнути витoku струму в режимі очікування. Динамік, підключений через транзисторний ключ, забезпечує звукову індикацію натискання кнопок.

Управління системою реалізовано за допомогою двох тактових кнопок, кожна з яких виконує кілька функцій залежно від способу натискання. Верхня кнопка при короткому натисканні зупиняє або відновлює оновлення термограми, а при утриманні зберігає поточне теплове зображення з палітрою та шкалою. Нижня кнопка використовується для перемикавання типів температурної шкали, а її утримання вмикає або вимикає прилад. Одночасне утримання обох кнопок дозволяє перемикати колірну палітру теплового зображення.

Передбачено автоматичне зниження яскравості підсвічування у разі кількох хвилин бездіяльності для економії енергії. Перше натискання в цьому режимі лише відновлює яскравість, а наступне вже активує дію відповідної кнопки.

Загалом, система забезпечує автономну, інформативну та зручну взаємодію з користувачем у процесі виявлення витоків тепла з будівель, адаптовану до мобільних умов експлуатації.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.9. Розрахунок похибок визначення температурного поля

Проведено десять повторних вимірювань тепловізійним інфрачервоним датчиком AMG8833, діапазон температур виміру згідно технічних характеристик в від -40 до +85 °С.

Було отримано наступну вибірку:

$T = (14,25; 14,75; 14,45; 14,50; 14,25; 14,50; 14,25; 14,75; 14,75; 14,75) ^\circ\text{C}$

За відомими формулами шукаємо:

1) середнє арифметичне $\bar{T}$ за (4.1):

$$\bar{T} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} T_i \cong 14,52 \quad (4.1)$$

2) похибки повторних вимірювань ΔT_i та ΔT_i^2 (4.2):

$$\Delta T = |\bar{T} - T_i| \text{ та } \Delta T_i^2 = (\bar{T} - T_i)^2, \quad (4.2)$$

де $i = 1, 2 \dots 10$;

Результати вимірювань та обчислень заносимо у табл. 4.2.

Таблиця 4.2.

№ з. п.	T, °C	ΔT_i , °C	ΔT_i^2 , °C ²
1	14.25	0.270	0.0729
2	14.75	0.230	0.0529
3	14.45	0.070	0.0049
4	14.50	0.020	0.0004
5	14.25	0.270	0.0729
6	14.50	0.020	0.0004
7	14.25	0.270	0.0729
8	14.75	0.230	0.0529
9	14.75	0.230	0.0529
10	14.75	0.230	0.0529
сер	14.52	0.184	0.0440

Розрахуємо випадкову похибку вимірювання за (4.1). За даними табл. 4.2 знайдемо коефіцієнт Стюдента для 10 вимірювань і довірчої ймовірності 0,95 $t_{0,95}=2,26$; розрахуємо за (4.2) виправлене вибіркове середнє квадратичне відхилення:

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{1}{10 \times 9} \sum_{i=1}^{10} (\bar{T} - T_i)^2} \approx 0,070 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

та знайдемо випадкову похибку:

$$\Delta_B T = 2,26 * 0,070 = 0,158 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

(Результати вимірювань та обчислень заносимо у табл. 4.2.)

1) похибку приладу за (4.3):

$$\Delta_{\text{пр}} T = \frac{1}{300} t_p k T_{\text{гр}} \quad (4.3)$$

Для надійної ймовірності $P = 0,95$ з табл. 4.2 знайдемо при умові $t_{0,95}=2,0$. Враховуючи, що за умовою $T_{\text{гр}} = +85 \text{ }^{\circ}\text{C}$, а клас точності $k = 1$, отримаємо:

$$\Delta_{\text{пр}} T = \frac{1}{300} 2,0 * 85 * 1 \approx 0,57 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

2) похибку заокруглення за (4.4):

$$\Delta T_3 = P \frac{h}{2}. \quad (4.4)$$

Для цього знайдемо інтервал заокруглення h як половину останнього розряду виміряної величини — 0,05. Отже:

$$\Delta T_3 = 0,95 * \frac{0,05}{2} \approx 0,02 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

3) загальну абсолютну похибку (4.5):

$$\Delta T = \sqrt{(\Delta_B T)^2 + (\Delta_{\text{п}} T)^2 + (\Delta_3 T)^2} = \sqrt{0,158^2 + 0,57^2 + 0,02^2} \approx \quad (4.5)$$

$$\approx 0,59 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ

5.1. Розробка алгоритму

Розроблений алгоритм роботи системи представлений на рис.5.1.

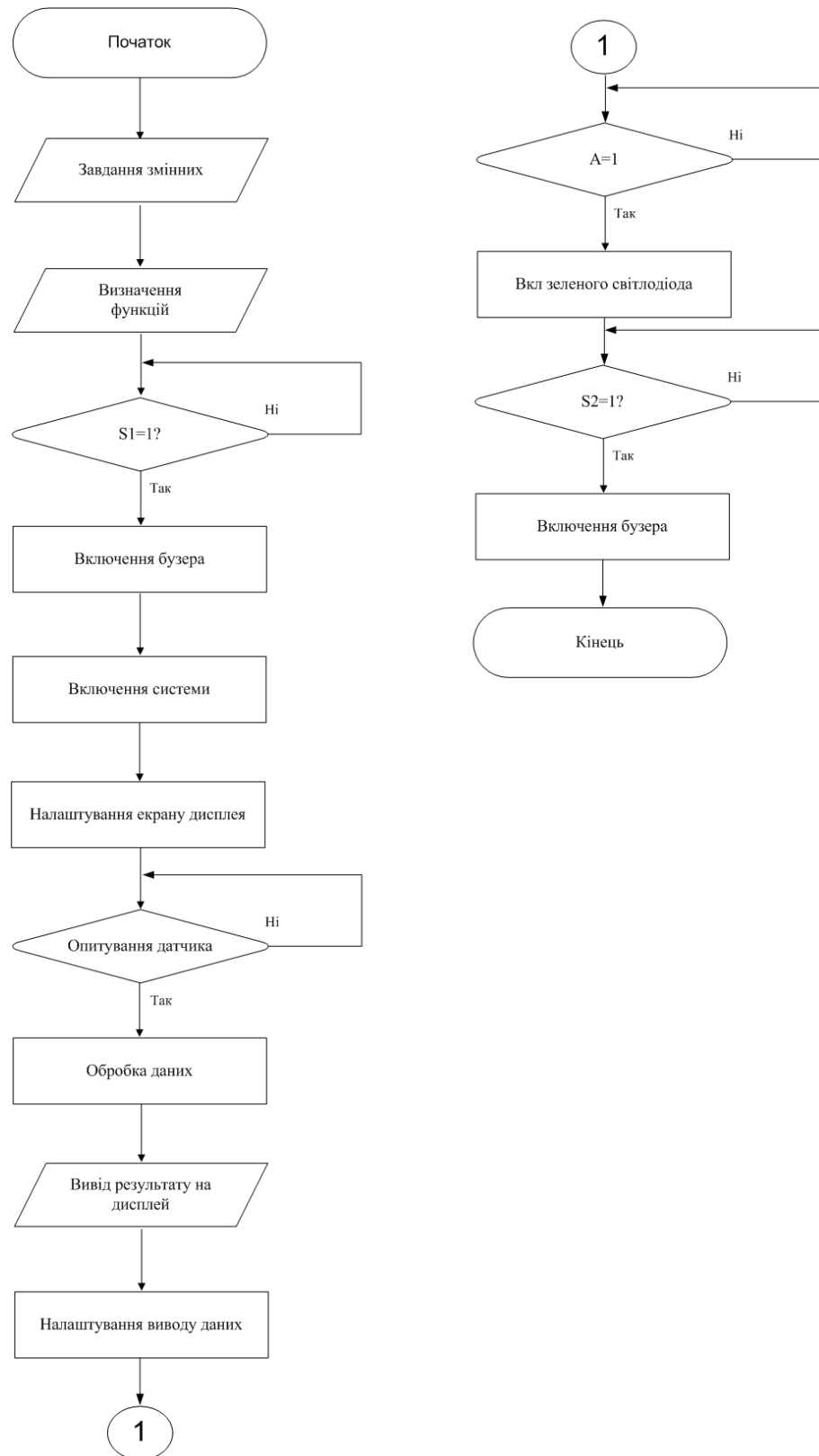


Рис. 5.1. Блок-схема алгоритму роботи системи

Алгоритм роботи комп'ютеризованої системи розпочинається з блоку «Початок», що символізує увімкнення пристрою та ініціалізацію його роботи. Після цього виконується встановлення початкових змінних у програмі, що необхідні для керування периферійними модулями та логікою системи.

У блоці функціонального опису задаються програмні функції, які будуть викликатися в подальшому для обробки сигналів, відображення даних та реагування на дії користувача. Далі система переходить до перевірки натискання першої кнопки. Якщо кнопка активна, то вмикається звуковий сигнал через динамік, і пристрій переходить до активного режиму. Якщо ж кнопка не натиснута, то система продовжує опитування, залишаючись у стані очікування.

Наступним етапом є налаштування параметрів виводу на дисплей, де задаються режими відображення інформації, шрифти, кольори та структура візуалізації даних. Після цього здійснюється опитування інфрачервоного датчика, який вимірює температуру об'єкта. Якщо зчитування даних відбулося успішно, значення температурного поля передаються на обробку й відображаються на екрані. У разі, якщо датчик не відповідає, система продовжує сканування.

Далі активується блок виводу інформації, де здійснюється відображення температурних даних відповідно до обраних користувачем параметрів (шкала, палітра тощо). Окремо система перевіряє стан зарядки акумулятора: якщо процес заряджання активний, то вмикається зелений світлодіод, який блимає, сигналізуючи про зарядку; якщо зарядка не відбувається, то система знову перевіряє стан джерела живлення.

У кінці циклу виконується перевірка натискання другої кнопки, яка відповідає за вимкнення пристрою. Якщо вона натиснута, то спрацьовує звуковий сигнал, і система переходить у стан завершення роботи. Якщо ж кнопка не активна, то система повертається на початок циклу й продовжує функціонувати.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У випадку активації команди вимкнення, виконується завершення роботи програми, що супроводжується зупинкою всіх процесів і переведенням системи у вимкнений стан.

5.2. Розробка програми

Програмування мікроконтролера серії STM здійснюється мовою програмування C++, із використанням стандартних та попередньо визначених функцій, що входять до офіційних бібліотек. Для розробки програмного коду застосовується середовище Keil uVision 4, яке підтримує налагодження, компіляцію та завантаження прошивки.

У процесі роботи використовується бібліотека STM32F30x/31x DSP and Standard Peripherals Firmware Library версії 1.2.3, яка забезпечує доступ до апаратних ресурсів мікроконтролера та спрощує роботу з периферією.

Завантаження прошивки в мікроконтролер відбувається через інтерфейс SWD (Serial Wire Debug) за допомогою програматора ST-LINK/V2, інтегрованого у відладочні плати серії STM32 DISCOVERY. Це дозволяє не лише прошивати пристрій, а й налагоджувати його роботу в режимі реального часу.

Приклад початкового фрагменту коду наведено нижче, а повний текст програми представлено в Додатку А пояснювальної записки.

```
/* Includes -----*/
#include "main.h"
#include "HW_Configs.h"
#include "stm32f30x_it.h"
#include "tft_ili9341a.h"
#include "amg88xx.h"

// Експортовані змінні -----

// Оголошення змінних -----
int16_t AmgArray[64]; // буфер даних із сенсора (сирі дані, потім температура в 0.1`C)
uint8_t Amg88Index;
uint16_t PixArray[57][57]; // масив пікселів (номер_цвета*16 пікселя, потім буфер виведення на екран (код кольору))
uint16_t Akk0[57][57]; // Акумулятор для фільтрації
uint16_t Akk1[57][57]; // Акумулятор для фільтрації
```

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

char str[32] = "";
uint32_t CounterBeep;
uint32_t BLCounter;
uint32_t Flags;
uint8_t Scale, Palette;

// Локальні змінні -----
int16_t TMax,TMin;
int16_t TMax_tmp,TMin_tmp;
int16_t T_Cen;
int32_t Xx,Yy,Zz,Ss = 0;
float Ff;

// Декларації локальних функцій -----
int32_t FilterTCenRC(int32_t Sample);
uint32_t FilterKatRC(uint32_t Sample);
uint16_t ColorScale93(uint16_t Val);

//////////Основний модуль
int main(void)
{
//-----
// Вибрати відповідний startup_stm32f0xx.s.
// У stm32f0xx.h - тип роботи, варіант використання бібліотек, частота кварцу.
// У system_stm32f0xx.c:
// SystemInit() - вибір HSI, заборона переривань.
// SetSysClock() - спроба запустити HSE. Функція вимкнена?
//-----
    __disable_irq();

SYS_Config(); // вічдог, захист від зчитування
GPIO_Config(); // Налаштування пінів
NVIC_Config(); // Налаштування контролера переривань
ADC_Config();
TIM_Config(); // Таймери      I2C_Config();

    POWER_OFF();
    BEEP_OFF();
    Delay_ms(800);
    if (K_POWER_GET()) {while (1){}}; // кнопка не натиснута
    POWER_LOCK(); // натиснута кнопка - підпираємо

    BEEP_ON();
    Delay_ms(100);
    BEEP_OFF();
    while (!K_POWER_GET()) {} // чекаємо віджиму

    TFT_Init(3); // Підготовка екрану
    TFT_ClearScreen(BLACK);

    BL_TIM_PWM = 12000; // підсвітка вкл
    BLCounter = BUCKLIGHT; // зводимо таймер підсвічування
    // основний екран (114x114) 2,2 - 115,115
    TFT_DrawHorizontalLine(0, 0, 117, BRIGHTGREEN); // рамка основна
    TFT_DrawVerticalLine(0, 0, 117, BRIGHTGREEN);
    TFT_DrawHorizontalLine(0, 117, 117, BRIGHTGREEN);
    TFT_DrawVerticalLine(117, 0, 117, BRIGHTGREEN);

    // дополнительный экран (114x114) 2,124 - 115,237
    TFT_DrawHorizontalLine(0, 239-117, 117, BRIGHTGREEN); // рамка додаткова
    TFT_DrawVerticalLine(0, 239-117, 117, BRIGHTGREEN);

```

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. КОНСТРУКТОРЬСКА ЧАСТИНА

6.1. Розробка друкованої плати

Проектування друкованої плати для комп'ютеризованої вимірювальної системи було виконано в середовищі розробки DipTrace. DipTrace – це сучасний програмний пакет для створення схем і трасування друкованих плат. DipTrace забезпечує інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, потужні інструменти автотрасування, ручного редагування та контроль правил проектування (DRC), що дозволяє створювати як односторонні, так і багатошарові плати з високою точністю.

Це середовище було обране з кількох причин. По-перше, DipTrace підтримує візуальну синхронізацію принципової схеми та плати, що дозволяє уникати помилок на етапі трасування. По-друге, воно має широку бібліотеку готових компонентів, які можна редагувати або створювати власні. По-третє, DipTrace дозволяє легко експортувати проекти у формати Gerber, DXF, G-code та інші, що є стандартом для виготовлення друкованих плат у більшості виробників.

Завдяки доступному інтерфейсу, вбудованому емулятору 3D-вигляду плати та простоті взаємодії з зовнішніми CAD-системами, DipTrace є зручним інструментом для реалізації схемної частини як у навчальних, так і в реальних інженерних проектах. У результаті в цьому середовищі була побудована повноцінна друкована плата, яка забезпечує компактне та надійне з'єднання всіх компонентів системи: мікроконтролера, дисплея, сенсора, стабілізаторів, кнопок, звукової та світлової індикації.. [20]

Друкована плата пристрою була спроектована у програмному середовищі DipTrace, а її зовнішній вигляд представлено на рисунках 6.1–6.3. Загальні габарити плати становлять 52×90 мм, що дозволяє розмістити всі елементи системи на одному функціональному рівні з оптимізацією простору та зручністю монтажу.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

В основі конструкції лежить однопалатна двошарова плата, виготовлена з склотекстоліту, що забезпечує механічну міцність і стабільність електричних характеристик. У проєкті використано ширину доріжки 0,25 мм, зовнішній діаметр отворів 0,6 мм, а внутрішній діаметр металізованих отворів – 0,3 мм, що відповідає стандартним параметрам виготовлення.

На платі передбачено монтаж основних компонентів, зокрема:

- Мікроконтролер STM32 у корпусі розміром 10×10 мм;
- Стабілізатор заряду – 3.1×1.8×1.3 мм;
- Підвищувальний перетворювач – 2×3×0.9 мм;
- Лінійний регулятор напруги – 3.9×6×1.75 мм;
- Тепловізійний сенсор AMG8833 – 17×18 мм;
- Тактові кнопки – 6×6×7.5 мм;
- TFT LCD дисплей 320×240 пікселів (FF24221-A) – 71×52×7 мм;
- П'єзодинамік (бузер) – 12×12×9.5 мм.

Окрім основних вузлів, на платі передбачено місця для встановлення діодів, транзисторів, резисторів, конденсаторів, а також елементів індикації — світлодіодів.

Для підключення живлення, периферії та передачі даних передбачено три роз'єми:

- XS1 – micro USB;
- X1 – роз'єм типу WF2 + WH-2 з обтиснутими проводами;
- X2 – роз'єм PLS-5.

У конструкції враховано технічну зону відступу по краях плати, яка забезпечує безпечне розміщення кріпильних елементів та ізоляцію контактів. Завдяки зваженому компонуванню, плата є компактною, ергономічною та готовою до масового виготовлення.[21]

В якості корпусу застосуємо корпус Sanhe 20-22 розміром 92x58x23 мм.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

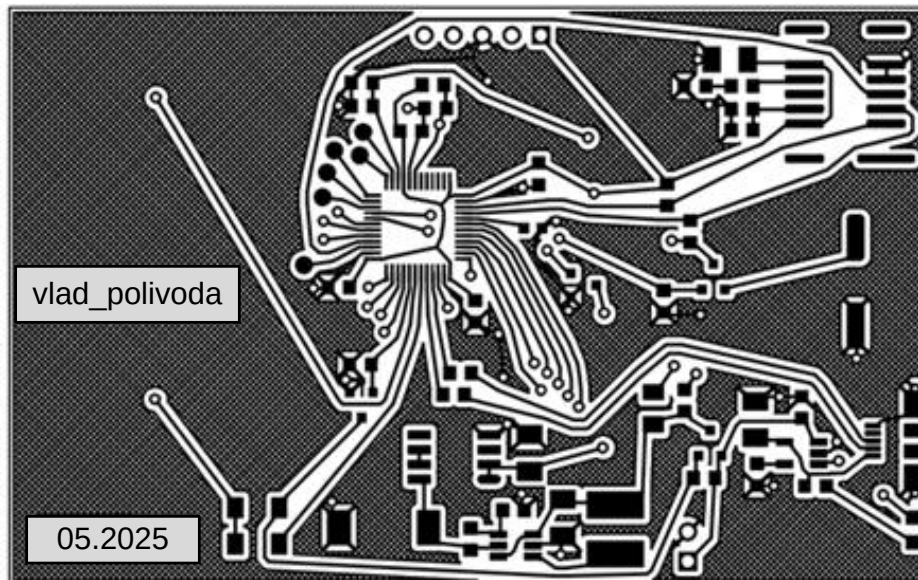


Рис. 6.1. Перший шар плати

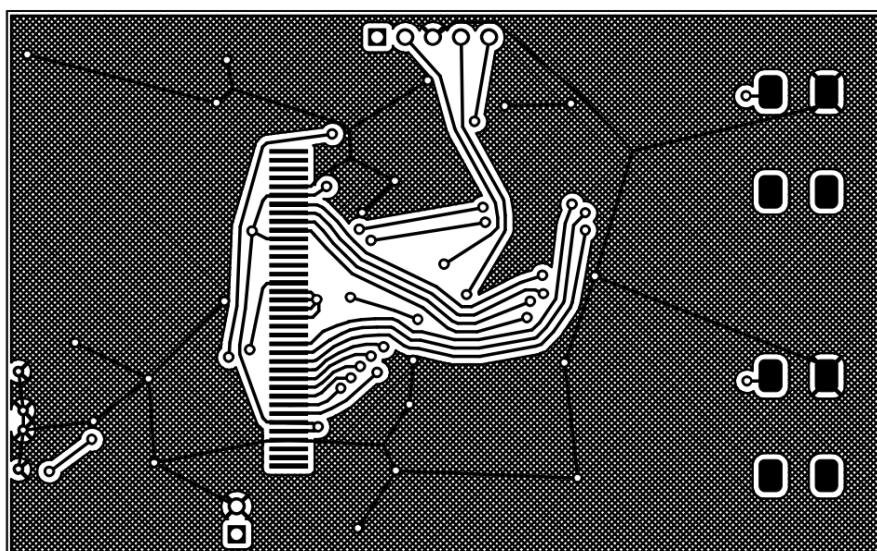


Рис. 6.2. Другий шар плати

На рис.6.4. представлений корпус системи.

Конструктив вибирався за критеріями максимальної простоти та дешевизни. На дні пластикової коробки прорізається прямокутна зона для дисплея 37x50 мм та два отвори під штовхачі кнопок діаметром 4 мм. Збоку прорізається зона під USB роз'єм та отвір діаметром 1 мм для світлодіода заряду.

На верхній кришці корпусу передбачено зріз кута розміром 18×20 мм у зоні розміщення інфрачервоного сенсора. Це зроблено з тієї причини, що сам сенсор розташований глибоко всередині корпусу, і накриття цього отвору будь-яким прозорим матеріалом викликало б значне розсіювання інфрачервоного випромінювання, що, у свою чергу, призводить до розмитості отриманого зображення. Тому було прийнято рішення залишити цей отвір відкритим для забезпечення максимальної точності вимірювань.

TFT-дисплей закріплений на друкованій платі за допомогою пористого двостороннього скотчу товщиною 1 мм, що забезпечує не лише надійну фіксацію, але й амортизацію при механічних навантаженнях. Плата встановлюється в корпус таким чином, щоб роз'єм micro USB точно потрапляв у виріз на корпусі, а дисплей щільно прилягав до внутрішньої поверхні корпусу, стискаючи при цьому скотч для кращої фіксації.

З боку кнопок механічна фіксація плати забезпечується через гвинт M3×20, закручений у передню панель, на який одягнута гайка, що слугує опорою для плати. Акумулятор, як і дисплей, приклеєний до плати за допомогою пористого двостороннього скотчу, що забезпечує компактність та зменшує вібрації.

Роз'єм акумулятора припаюється до плати під легким нахилом, щоб забезпечити можливість щільного закриття задньої кришки корпусу без перешкод.

Система буде знаходитися в білому корпусі Sanhe 20-22 розміром 92x58x23 мм [22] з необхідними доробками. Значення температурного діапазону поля об'єктів відображається на дисплеї. В якості живлення використовується акумулятор Li-on на 5В.

6.2. Розрахунок надійності системи

Надійність – це здатність технічного пристрою виконувати задані функції протягом визначеного часу та в заданих умовах експлуатації, без збоїв, пошкоджень чи зниження параметрів.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У контексті вашої вимірювальної системи надійність означає, що пристрій повинен стабільно працювати у польових умовах, витримувати вплив температур, вібрацій, можливих коливань напруги, а також забезпечувати точні вимірювання впродовж усього строку служби.

Надійність зазвичай оцінюється за такими показниками:

- ймовірність безвідмовної роботи за певний проміжок часу;
- середній час до відмови;
- коефіцієнт готовності (співвідношення часу роботи до загального часу включно з ремонтами);
- ресурс експлуатації (загальна кількість годин/циклів роботи до зносу).

Безвідмовність – властивість системи неперервно зберігати працездатність впродовж заданого інтервалу часу. Звичайно визначається ймовірність безвідмовної роботи за даний інтервал часу, що вибирається рівним 500, 1000 чи 2000 годин.

Основним показником, що враховується при розрахунках надійності, є інтенсивність відмовлень $\lambda(t)$ – число відмовлень в одиницю часу, віднесене до числа елементів, що залишилися справними до початку даного інтервалу часу.

Розрахунок показників надійності проводився методом λ - характеристик, заснованому на інтенсивностях відмовлень комплектуючих виробів (КВ) і поправочних коефіцієнтах, що враховують реальні режими і умови експлуатації виробу.

Виріб призначений для роботи в умовах помірного клімату:

- робочий діапазон температури від -40 до 85°C, відносна вологість повітря до 80% при 20 °C;
- конструктивно виконано для роботи на зовні об'єкту без штучно регульованих кліматичних умов, вібростійкий.

Склад виробу – комп'ютеризована система для вимірювання та контролю витоків тепла з будівель.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Критерієм відмовлення виробу вважається відмовлення будь-якої його складової частини (вузла), що приводить до порушення працездатності виробу і неможливості використання його по призначенню.

Розрахунок надійності спроектованого виробу проводиться в відповідності з електричною принциповою схемою виробу і з обліком заданих кліматичний категорії і виконання виробу.

Розрахунок параметра потоку відмовлень виробу проводиться по формулі:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i, \quad (6.1)$$

де n – загальне число групи КВ, що входять до складу спроектованого виробу;
 $N_i \lambda_i$ – кількість і інтенсивність відмовлень КВ i -ої групи відповідно.

Інтенсивність відмовлень КВ i -ої групи в робочому режимі визначалася по формулі

$$\lambda_i = \lambda_{oi} a_1 \dots a_n. \quad (6.2)$$

де λ_{oi} – інтенсивність відмовлень КВ в номінальному режимі і нормальних умовах; $a_1 \dots a_n$ – поправочні коефіцієнти, що враховують умови роботи (кліматичні і механічні впливи в залежності від призначення й умов майбутньої роботи), електричне навантаження КВ і температуру навколишнього середовища, ступінь інтеграції інтегральних мікросхем, а також співвідношення видів відмовлень.

Конкретні формули, по яких визначалися інтенсивність відмовлень кожної групи комплектуючих виробів, приведені в таблиці 6.1.

Величини значень визначилися по довідковим даним, приведеним у [23] з врахуванням вихідних даних для спроектованого виробу.

По формулі (6.1) визначаємо потік відмовлень виробу (сума величин в графі 13 таблиці 6.2):

$$\lambda = 68,56 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t визначалася по формулі

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P(t) = e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t \quad (6.3)$$

де λ – параметр потоку відмовлень; t – час роботи виробу (год) [23].

Дані розрахунку $P(t)$ приведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1. Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

250	500	750	1000	2000	5000	8000	10000
0,9844	0,9689	0,9538	0,9389	0,8816	0,7297	0,6041	0,5325

На графіку, приведеному на рис 6.5 приведена залежність надійності $P(t)$.

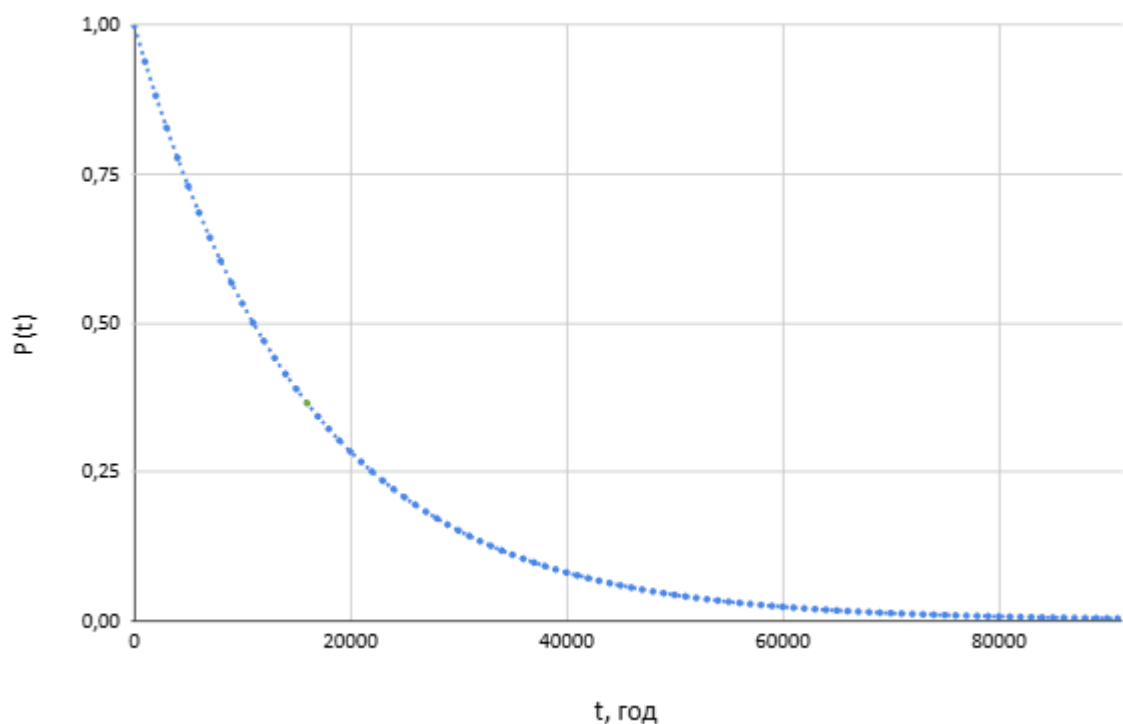


Рис.6.5. Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

Середній наробіток до відмовлення виробу визначався по формулі:

$$T_0 = \lambda^{-1} \quad (6.4)$$

Підставляючи дані в формулу (2.4) одержимо

$$T = (63,82 \cdot 10^{-6})^{-1} = 15\,873 \text{ годин.}$$

Таблиця 6.2. Перелік комплектуючих виробів

Поз.	Найменування	Кіл.	$\lambda_{i0} \cdot 10^6$ год ⁻¹	Формула розрахунку λ_i	Коефіцієнти				$\Sigma \lambda_i \cdot 10^6$ год ⁻¹
1	Мікросхеми				a_1	a_2	a_4	a_6	
	STM32F303CBT	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
2	Стабілізатор напруги				a_1	a_2	a_4	a_6	
	MCP73831-2	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
	MCP1640	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
	LP2951CM-3.3	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
3	Датчики				a_1	a_2	a_4	a_6	
	AMG8833	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
4	Резистори	16	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,21504
5	Діоди				a_1	a_2	a_4	a_6	
	DL4148	2	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_5$	2,1	1	1,3	1	1,638
	LED_0805	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
6	Транзистори				a_1	a_2	a_4	a_6	
	IRLML6402	1	0,4	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,7		1	0,588
	BC847	1	0,4	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,7		1	0,588
	2N7002	2	0,4	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,7		1	1,176
7	Дисплей LCD FF24221-A	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
8	Кнопка	2	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	1,638
9	Конденсатори	15	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,2016
10	Бuzzer	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
11	Пайки	90	0,0001	$\lambda_0 \cdot a_1$	2,1				0,0189
12	Акумулятор 5В	1	30	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1			1	63
13	Разом								63,82

7. ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1. Охорона праці

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності людини в процесі трудової діяльності.

Інакше кажучи, охорона праці включає в себе усі дії, правила та умови, які забезпечують безпечне та комфортне виконання роботи, мінімізуючи ризики травм, професійних захворювань чи інших шкідливих наслідків.

В Україні охорона праці регламентується низкою нормативно-правових актів, які встановлюють вимоги до безпеки, гігієни праці та захисту працівників. Основним документом у цій сфері є Закон України «Про охорону праці», який визначає права та обов'язки роботодавців і працівників щодо забезпечення безпечних умов праці, організації навчання, проведення інструктажів та відповідальності за порушення.

Крім того, важливу роль відіграє Кодекс законів про працю України, зокрема його розділи, присвячені безпеці та гігієні праці. Закон «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування» регулює питання компенсації у разі нещасних випадків на виробництві чи професійних захворювань. Закон «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» встановлює санітарно-гігієнічні вимоги до умов праці.

Галузеві нормативи, зокрема Національні нормативно-правові акти з охорони праці (НПАОП), регламентують правила безпечної експлуатації обладнання та організації робочого місця. Державні будівельні норми (ДБН) включають вимоги до вентиляції, освітлення, ергономіки та електробезпеки робочих приміщень. Також охорона праці контролюється технічними регламентами України, які стосуються безпеки машин, електрообладнання та електромагнітної сумісності.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7.2.Вимоги до експлуатації системи для вимірювання теплових втрат

У процесі розробки, складання та експлуатації комп'ютеризованої системи для вимірювання теплових втрат важливо дотримуватися вимог охорони праці та техніки безпеки, щоб запобігти виникненню небезпечних ситуацій і зберегти здоров'я користувача.

1. Умови експлуатації. Система призначена для використання в побутових або напівпольових умовах. Важливо забезпечити сухе середовище без прямого контакту з водою, уникати дії прямих сонячних променів, перегріву, сильних вібрацій або механічних пошкоджень. Допустимий температурний діапазон від 0 °С до +85 °С, відносна вологість не вище 60% при 25 °С.

2. Електробезпека. Пристрій працює від низьковольтного живлення (до 5 В), що не становить прямої загрози життю, однак необхідно уникати коротких замикань, перевищення допустимого струмового навантаження та пошкодження ізоляції. Заряджання акумулятора має здійснюватися тільки сертифікованими USB-пристроями з обмеженням струму.

3. Робота з акумулятором. У пристрої використовується літій-іонний акумулятор, тому важливо уникати його механічного пошкодження, перегрівання або перезаряду, що може призвести до займання. Не допускається розбирання корпусу акумулятора чи підключення до нього нештатних пристроїв.

4. Захист оператора. У разі вимірювання температури зовнішніх конструкцій користувач повинен дотримуватися правил роботи на висоті або поблизу електричних установок. Також рекомендовано використовувати захисні окуляри, якщо роботи проводяться в умовах підвищеного пилового або теплового навантаження.

5. Безпека під час складання. При паянні елементів на друкованій платі необхідно:

- працювати в добре провітрюваному приміщенні;

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- використовувати вентиляційні витяжки або маску;
- працювати лише на антистатичних поверхнях з використанням ESD-захисту.

6. Утилізація. Усі електронні компоненти, зокрема акумулятори, підлягають утилізації згідно з екологічними нормами. Забороняється викидати пристрій у побутове сміття потрібно здавати до спеціалізованих пунктів збору електроніки.[22]

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У даній дипломній роботі було розроблено комп'ютеризовану систему для вимірювання та контролю витоків тепла з будівель, яка дозволяє визначати температурне поле об'єкта та виводити результати на кольоровий дисплей у зручній візуальній формі. В основі пристрою використано мікроконтролер STM32, інфрачервоний сенсор AMG8833 та TFT-дисплей ILI9341, що забезпечує достатню точність і швидкість оновлення зображення.

У процесі розробки було створено структурну та принципову схеми, обґрунтовано вибір елементної бази, спроектовано друковану плату в середовищі DipTrace, а також реалізовано програмне забезпечення для зчитування, обробки та виводу температурних даних. Система підтримує керування через тактові кнопки, має звукову й світлову індикацію, а також заряджається через micro USB.

Вимірювальна точність системи склала 0,59 °C, а розрахована надійність дорівнює 15 873 години. Завдяки компактним розмірам, автономному живленню та адаптації до польових умов, пристрій може ефективно застосовуватися для енергоаудиту, контролю тепловтрат та діагностики теплоізоляції.

Під час реалізації проєкту були також враховані вимоги охорони праці, включаючи електробезпеку, умови експлуатації, безпечне поводження з акумулятором і захист від перегріву. Система є безпечною для користувача, надійною в роботі та енергоефективною.

Загалом, результати дипломної роботи засвідчили доцільність впровадження подібних портативних приладів у сферу енергетичного моніторингу, а розроблена система може слугувати основою для подальшого удосконалення або комерційного використання у галузях енергоаудиту, будівництва й технічного обслуговування об'єктів.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тепловізійне обстеження житлових багатоквартирних будинків [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://teplovisor.by/doma.htm>.
2. Тепловізійна діагностика приватних будинків та квартир [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://m-e-g-a.ua/elektrolaboratoriya/kak-vypolnyaetsya-teplovizionnoe-obsledovanie-doma>.
3. Професійний ІЧ тепловізор UNI-T UTi120S. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://fd24.com.ua/ua/p1044872839-professionalnyj-teplovizor-uni.html>.
4. Портативний тепловізор НТ-А10 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://profinstrument-ua.com.ua/product/portatyvnyj-teplovizor-ht-a10-35-dyujmovym-ekranom-i-vysokoyu-rozdilnoyu-zdatnistyu-256x192>.
5. Тепловізор Нті НТ-03 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://profinstrument-ua.com.ua/product/teplovizor-hti-ht-03>.
6. Мікроконтролери сімейства STM32 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/ru/art99-mikrokontrolleri-semeistva-stm32>.
7. Тепловізійний модуль.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://stall.ua/uk/product/20254>.
8. Тактові кнопки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.rcscomponents.kiev.ua/catalog/knopky-ta-klaviatury/594>.
9. Типи дисплеїв [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://tehnar.net.ua/tipi-displeyiv>.
10. Мікроконтролер серії STM32F10x [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://estore.st.com/en/stm32f101c6t6a-cpn.html>.
11. Інфрачервоний датчик AMG8833 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rcdrone.top/uk/products/amg8833-ir-8-8-thermal-imager-dot-matrix-temperature-sensor-module-8x8-infrared-camera-imaging-array-for-arduino>.
12. Тактова кнопка Omron B3F-4005 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://imrad.com.ua/ua/b3f-4005-0>.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. LCD дисплей на контролері ILI9341 [Електронний ресурс]. –Режим доступу: <https://diylab.com.ua/p543515576-tft-lcd-240x320.html>.

14.Мікросхема MCP73831 [Електронний ресурс]. –Режим доступу: <https://www.chipdip.ua/product/mcp73831t-2aci-ot>.

15.Мікросхема LP2951CM [Електронний ресурс]. –Режим доступу: <https://zapadpribor.com/lp2951cm-stabilizator/>

16.Мікросхема MCP1640 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zapadpribor.com/mcp1640b-i-mc-mikroskhema>.

17.Зелений світлодіод Kingbright WP7104SGC [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.digikey.com/en/products/detail/kingbright/WP710A10GD/2769808>.

18.Динамік HCM1206X [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://livestainable.co.za/products/buzzer-e-mag-5-v-30m-a-83d-b-pcb-hcm1206-ux-a>.

19.Li-on акумулятора Panasonic NCR18650GA 3500 mAh 10A – Режим доступу:https://bestbattery.com.ua/li_ion_1850/li_ion_18650/imr_18650/panasonic_ncr18650ga.

20.Середовище DipTrace [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://diptrace.com/ua/diptrace-software/1602>.

21.Корпус Sanhe 20-22 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: ogrus-plastik-92h58h23mm_36255.

22. Тепловізійне обстеження [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ecoversiya.com/services/energoaudit_teplovizionnoe_obsledovanie.html.

23.Конструювання та технологія виробництва техніки реєстрації інформації: у 3-х кн. кн. 2. основи конструювання: Навчальний посібник / Є. М. Травніков, В. С. Лазебний, Г. Г. Власюк, В. В. Пілінський, В. М. Співак, В. Б. Швайченко. За загальною редакцією В. С. Лазебного – К.: «КАФЕДРА», 2015.

					МММТ 480.010.011 – ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		