

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Приладобудівний факультет  
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

«До захисту допущено»  
в.о. завідувача кафедри  
Юрій КИРИЧУК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**  
на здобуття ступеня магістра  
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані  
технології та системи неруйнівного контролю і діагностики»  
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології»  
на тему: «Тепловізійна система для діагностування тепловтрат споруд»

Виконав:  
студент II курсу, групи ПК – 01мп  
Живкович Артур Владиславович



Науковий керівник:  
старший викладач, к.т.н.  
Муравйов Олександр Володимирович

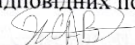


Консультант з розробки стартап-проекту:  
професор, д.е.н.  
Бояринова Катерина Олександрівна



Рецензент:  
доцент, к.т.н.  
Мокійчук Валентин Михайлович



Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних посилань  
Студент 

Київ – 2021 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Приладобудівний факультет  
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

«До захисту допущено»  
в.о. завідувача кафедри  
\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація  
на здобуття ступеня магістра  
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані  
технології та системи неруйнівного контролю і діагностики»  
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології»  
на тему: «Тепловізійна система для діагностування тепловтрат споруд»**

Виконав:

студент II курсу, групи ПК – 01мп  
Живкович Артур Владиславович \_\_\_\_\_

Науковий керівник:

старший викладач, к.т.н.  
Муравйов Олександр Володимирович \_\_\_\_\_

Консультант з розробки стартап-проєкту:

професор, д.е.н.  
Бояринова Катерина Олександрівна \_\_\_\_\_

Рецензент:

доцент, к.т.н.  
Мокійчук В.М. \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних посилань  
Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2021 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Приладобудівний факультет**

**Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані технології та системи неруйнівного контролю і діагностики»

ЗАТВЕРЖДУЮ

в.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_21\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломну дисертацію студенту**

**Живковичу Артуру Владиславовичу**

1. Тема дисертації «Тепловізійна система для діагностування тепловтрат споруд», науковий керівник Муравйов Олександр Володимирович, к.т.н., старший викладач кафедри АСНК, затверджені наказом по університету від « 03 » листопада 20 21 року № 3664-с.
2. Термін подання студентом дисертації: « 14 » грудня 20 21 року.
3. Об'єкт дослідження: процес діагностування тепловтрат об'єктів з використанням тепловізійної системи.
4. Вихідні дані до проекту: точність вимірювання температурних покаників  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , спектральний діапазон роботи  $\Delta\lambda = 8 - 14$  мкм, кут поля зору об'єктива  $2\omega = 40^{\circ}$ , діапазон вимірюваних температур  $0 - 300^{\circ}\text{C}$ .
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Розділ 1. Теоретичні основи термографії; Розділ 2. Проектування тепловізійної системи; Розділ 3. Підбір комплектуючих для конструкції тепловізійної системи; Розділ 4. Розробка стартап-проекту тепловізійної системи.

6. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): три плакати «Функціональна схема тепловізійної системи», «Проектування оптичної системи тепловізора», «Розроблений макет тепловізійної системи та мобільний застосунок», презентація доповіді.

7. Орієнтовний перелік публікацій: публікації двох статей у XVI міжнародній науково-практичній конференції «Динаміката на сьвременна та наука – 2020» у м. Софія та XVI міжнародній науково-практичній конференції «Dynamika naukowuch badan – 2020» у м. Псемисль.

8. Консультанти розділів дисертації:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проекту	Бояринова К.О., професор, д.е.н.		

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1.	Збір та аналіз літературних джерел для написання магістерської дисертації. Складання бібліографії наукових джерел		
2.	Систематизація теоретичного матеріалу		
3.	Підбір комплектуючих для конструкції приладу		
5.	Розробка функціональної схеми та конструювання макету майбутнього приладу		
6.	Розробка приладу		
7.	Розробка застосунку для смартфонів		
8.	Формування загальних висновків		
9.	Остаточне оформлення магістерської дисертації, підготовка презентаційного матеріалу		

Студент

Артур ЖИВКОВИЧ

Науковий керівник дисертації

Олександр МУРАВЙОВ

## АНОТАЦІЯ

Метою магістреської дисертації є розробка тепловізійної системи та застосунок на смартфони, що може використовуватися не тільки при аудиті тепловитрат споруд, але й практично використовуватися у різних сферах.

Зміст магістерської дисертації містить вступ, чотири роздіди, висновки, список використаних джерел при дослідженні та додатки. Робота викладена на 73 сторінках, містить 28 рисунків та 28 таблиць.

В межах даної магістерської дисертації було проведено дослідження теоретичних основ термографії, розроблено функціональну схему пристрою, сконструйовано тепловізійну систему та розроблено мобільний додаток для зручного управління приладом, здійснено підбір комплектуючих пристрою та обґрунтовано розробку стартап-проєкту для комерційного використання як спеціалістами у їх роботі, так і звичайними користувачами у повсякденному житті.

*Ключові слова:* тепловізійна система, тепловізор, тепловтрати, мобільний застосунок, тепловізійне бачення

## ABSTRACT

The purpose of the master's dissertation is to develop a thermal imaging system and application for smartphones, which can be used not only in the audit of heat consumption of buildings, but also practically used in various fields.

The content of the master's dissertation contains an introduction, four sections, conclusions, a list of sources used in the study and appendices. The work is presented on 73 pages, contains 28 figures and 28 tables.

Within the framework of this master's dissertation the research of theoretical bases of thermography was carried out, the functional scheme of the device was developed, the thermal imaging system was constructed and the mobile application for convenient control of the device was developed, ordinary users in everyday life.

*Keywords:* thermal imaging system, thermal imager, heat loss, mobile application, thermal imaging vision

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

МК – мікроконтролер;

ПО – програмне забезпечення;

TFT – thin-film transistor (тонкоплівковий транзистор);

ІЧ – інфрачервоне випромінювання;

АПП – апаратно-програмна платформа;

Li-ion – літій-іонний акумулятор.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	9
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕРМОГРАФІЇ .....	11
1.1. Загальна характеристика тепловізорів, сфери застосування та основні переваги .....	11
1.2. Закони теплового випромінювання .....	14
1.3. Загальна класифікація, принцип роботи тепловізорів та їх схематичне представлення .....	18
2.4. Характеристика аналогів на сучасному ринку тепловізійних систем .....	22
Висновки до розділу 1 .....	27
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ ТА РОЗРОБКА ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ СМАРТФОНУ .....	28
2.1. Функціональна схема пристрою тепловізійної системи .....	28
2.2. Моделювання оптичної системи тепловізора .....	30
2.2. Розробка застосунку для смартфонів .....	34
2.4. Моделювання корпусу та огляд принципу роботи тепловізійної системи .....	37
Висновки до розділу 2 .....	39
РОЗДІЛ 3. ПІДБІР КОМПЛЕКТУЮЧИХ ДЛЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ .....	41
3.1. Апаратно-програмна платформа ESP32-CAM .....	41
3.2. Дисплей Y-1.8 SPI TFT v2 .....	42
3.3. Матрична тепловізійна ІЧ-камера MLX 90640-D55 .....	43
3.4. Вибір додаткових елементів: плати зарядки, живлення та сенсорного датчика управління .....	44
Висновки до розділу 3 .....	47
РОЗДІЛ 4. СТАРТАП-ПРОЄКТ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ .....	49



4.1. Суть та опис проєкту «Тепловізійна система для діагностування тепловтрат споруд ТЕРЛО».....	49
4.2. Ринкові можливості реалізації проєкту «Тепловізійна система для діагностування тепловтрат споруд ТЕРЛО» .....	51
4.3. Ринкова стратегія проєкту.....	57
4.4. Маркетингова програма проєкту «Тепловізійна система для діагностування тепловтрат споруд ТЕРЛО» .....	60
Висновки до розділу 4 .....	64
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68
ДОДАТКИ.....	74

## ВСТУП

*Актуальність проблематики.* Через підвищення вартості на комунальні послуги, зокрема у зимній період на тепло, багато хто почав задумуватися над питанням про зменшення тепловтрат. Причини втрати тепла можуть бути різноманітними, а саме через:

- підлогу та фундамент споруди, що можуть складати 10% тепловтрат. Якщо у будівлі є підвальне приміщення значення показника може значно зрости;

- неефективну роботу батарей, оскільки вони можуть бути встановлені неправильно та нагрівати зовнішню поверхню стіни, що значно може збільшувати витрати тепла через стіни;

- через стіни може втрачатися від 30% до 40% тепла, а якщо споруда має якісь конструктивні дефекти, то відсоток тепловтрат може зрости;

- тепловтрати через дах можуть складати до 15%, основними факторами у такому разі може бути неправильна викладка та недостатня товщина утеплюючого шару, порушення цілісності покрівлі тощо;

- неякісні склопакети можуть призводити до витоку 10% тепла;

- виток тепла через вентиляцію може складати до 30%;

- неякісна теплоізоляція стін через порушення технології монтажу, використання неякісних матеріалів та інше.

Деякі з перелічених причин тепловтрат можна повністю усунути, інші – значно мінімізувати. Отримати більш точний результат дослідження причин тепловтрат можна шляхом проведення енергоаудиту, найпростіший спосіб проведення – використання тепловізійної системи, що дасть змогу наглядно визначити основні фактори теплових втрат. Така система оснащена спеціальним датчиком, що реєструє інфрачервоне випромінювання об'єкту та передає інформацію на дисплей приладу у вигляді теплового зображення. Даний прилад покликаний вимірювати втрати тепла від стін, вікон, покрівлі

даху, фасаду та радіаторів, що дозволяє визначити недоліки будівельно-монтажних робіт та дає можливість визначити масштаб робіт по утепленню споруд.

*Мета магістерської дисертації* полягає у розробці тепловізійної системи та програмуванні застосунку для смартфонів.

Актуальність проблематики теми дослідження та її мета обумовлюють виконання ряду завдань, таких як:

- провести аналіз теоретичних основ термографії;
- спроектувати робочий макет тепловізора;
- здійснити підбір комплектуючих приладу тепловізійної системи;
- здійснити програмування додатку для смартфонів.

*Об'єктом дослідження* даної магістерської дисертації виступає процес діагностування тепловтрат об'єктів з використанням тепловізійної системи.

*Предмет дослідження* є тепловтрати споруд.

*Структура та обсяги.* Магістерська дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів та коротких висновків до них, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота викладена на 73 сторінках без врахування додатків та містить 28 рисунків, а також 28 таблиць. Список використаних літературних джерел налічує 28 посилань на роботи досліджуваної проблематики різних авторів.

## РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕРМОГРАФІЇ

### 1.1. Загальна характеристика тепловізорів, сфери застосування та основні переваги

Сьогодні актуальним питанням постає економія витрат на енергоресурси, зокрема в опаленні. В утеплення будинків вкладають чималі кошти і частенько не отримують бажаного результату, оскільки незначні дефекти можуть провокувати значні тепловтрати. Тому перед початком робіт по утепленню слід проводити тепловізійне обстеження, що дасть змогу виявити монтажні помилки, недоліки матеріалів та дефекти в конструкції будівлі тощо. Тепловізійне обстеження проводять за допомогою тепловізорів, що сканують будівлю та дають змогу виявити місця найбільших тепловтрат.

Під тепловізорами слід розглядати пристрої, призначені для спостереження нагрітих об'єктів за їх власним тепловим випромінюванням. Людське око сприймає дуже обмежену частину електромагнітного випромінювання – видиме світло. Цього вистачає, щоб бачити кольори, форми, однак недостатньо, щоб охоплювати світ у всій повноті. Теплову енергію та інфрачервоні промені людина відчуває тільки тактильно, що незручно, оскільки неможливо визначити точну температуру і є ризик отримати опік. Тому такі пристрої перетворюють невидиме оком людини інфрачервоне випромінювання в електричні сигнали, які після підсилення та автоматичної обробки знову перетворюються у видиме зображення об'єктів. Інакше кажучи, тепловізор фіксує «тепловий профіль» об'єктів і навколишнього середовища [1-4].

Застосування тепловізорів обумовлено необхідністю пошуку гарячих (іноді – холодних) місць на температурному полі, наявність яких говорить про порушення нормального режиму експлуатації об'єкта або обладнання, небезпечних дефектах, втрати енергії і т.д. Хороший тепловізор не тільки дозволяє локалізувати ці «гарячі точки», але і виміряти їх температуру [5, 6].

У теперішній час сфери застосування тепловізорів стрімко розширюються і мають практично необмежений потенціал. Це викликано здатністю обладнання чуйно реагувати на найменші зміни температурних параметрів, не помітних людському оку. Головна умова роботи техніки полягає у випромінюванні електромагнітних хвиль, які виходять від досліджуваного предмета.

Сьогодні тепловізійні системи використовують у наступних сферах:

- у будівництві одним з основних напрямків теплового контролю є загальний енергоаудит будівель і споруд з метою оптимізації витрат на енергію;
- ще одним напрямком будівельної термографії є тепловізійний контроль систем опалення, вентиляції та кондиціонування;
- серед інших напрямків тепловізійного контролю в будівництві, можна виділити, пошук місць проникнення вологи, пошук трубопроводів гарячої та холодної води і місць їх розривів;
- для ранньої діагностики можливих неполадок технічних пристроїв (місця перегріву технічних вузлів і деталей);
- сучасні любителі полювання нерідко користуються тепловізорами, щоб відстежити диких тварин;
- в медицині для виявлення інфікованого хворого по температурі тіла, для визначення джерела захворювання і виявлення діагнозу;
- у промисловості пристрої допомагають контролювати нормальний перебіг технологічних процесів та запобігати позаштатні ситуації;
- наукові тепловізійні прилади допомагають проводити експерименти та лабораторні дослідження;
- тепловізори все ширше застосовуються у військовій справі в якості приладів нічного бачення для виявлення теплоконтрастних в будь-який час доби;

- в операціях пожежних та МНС, щоб мати можливість знайти потерпілого в зоні поганої видимості і вийти безпечним шляхом і т.д.
- вони дуже активно використовуються в охоронній сфері завдяки можливості побачити зловмисника в повній темряві;
- прилади з високою чутливістю застосовують правоохоронні органи. Вони здатні показати, що хтось взявся за дверну ручку, протягом близько тридцяти хвилин – на ручці залишаться теплові плями.
- несправні механічні та електричні прилади нагріваються через тертя, замикання, інших причин. Тепловізори визначають нагрів без розбору обладнання [7-10].

Тож, основними сферами застосування промислових тепловізорів є тепловий аудит об'єктів будівництва, пошук несправності електромереж, моніторинг виробничих процесів та інші випадки, коли по неоднорідності теплового поля можна судити про технічний стан контрольованих об'єктів.

Широке різноманіття сфер застосування обумовлено рядом переваг, якими володіють дані пристрої. Розглянемо основні з них:

- безконтактність та дистанційність процесу контролю. Пристрої можуть реєструвати показники відстані декількох метрів від об'єкта;
- мобільність апаратури. Прилади мають малі габарити і вагу, що значно спрощує процес проведення вимірювання;
- швидкість проведення вимірювань. Теплобачення дозволяє досліджувати велику кількість об'єктів в найкоротші терміни та з мінімальними витратами;
- наочність. Теплове зображення оперативно з'являється на екрані вимірювального приладу. Наприклад, обробка результатів і складання звіту по тепловізійному обстеженні об'єкта будівництва займає в середньому 2-3 дні;
- незалежність від розмірів об'єкта. Можливість огляду одним і тим же приладом малих (розміром до декількох сантиметрів) і дуже великих (розміром до сотень метрів) об'єктів;

– безпечність. Обстеження не приносить шкоди здоров'ю людини.

Особлива перевага таких приладів, як тепловізор полягає у тому, що вони можуть представляти температуру досліджуваних об'єктів не у вигляді сухого набору цифр, а наочно. Це дозволяє побачити взаємозв'язок між явищами, вловити загальні тенденції, що відбуваються. Але в той же час тепловізор дає і дуже точні дані про температуру. Таке унікальне поєднання наочності і точності відкриває перед тепловізорами величезні перспективи для застосування в самих різних сферах людської діяльності.

## 1.2. Закони теплового випромінювання

Усі нагріті тіла, як тверді, так і рідкі характеризуються безперервним розподілом випромінювання по спектру електромагнітних хвиль з єдиним максимумом, положення якого напряму залежить від температури об'єкта. Тобто, чим більше теплової енергії випромінює об'єкт, тим вища його температура.

Під тепловим випромінюванням слід розглядати електромагнітні хвилі різної довжини, що випромінюються нагрітим тілом за рахунок власної внутрішньої енергії. Наглядно електромагнітний спектр теплового випромінювання наведено на рисунку 1.1.

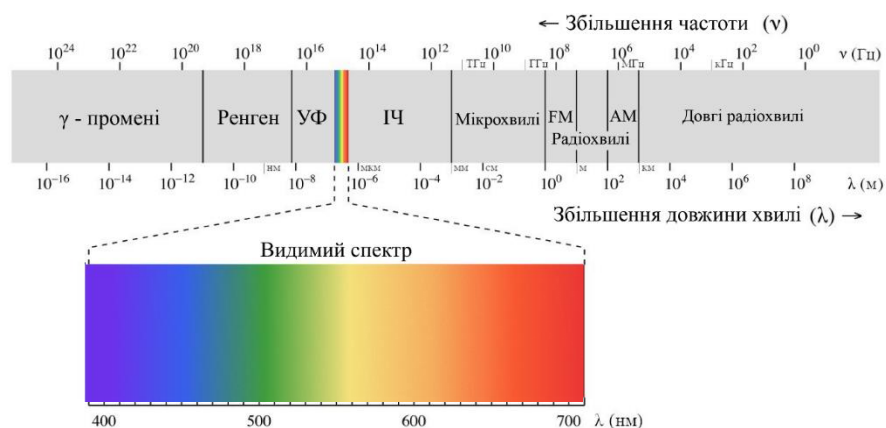


Рис. 1.1. Спектр випромінювання електромагнітних хвиль

Теплові промені у діапазоні від 500°C до 600°C стають видимі людському оку, при цьому інтенсивність світіння нагрітого тіла примножується з підвищенням його температури. Промені з довжиною хвилі до 40 мкм належать до ділянки ультрафіолетового спектру, вони є невидимими. Промені, що є видимими людському оку займають діапазон від 0,40 до 0,75 мкм, тоді як промені, що займають проміжок від 0,75 мкм до 400 мкм відносяться до інфрачервоного спектру випромінювання. При температурному вимірюванні використовують ділянку інфрачервоного випромінювання та діапазон електромагнітних хвиль, видимих оку людини [11-14].

У фізиці для контролю температури нагрітих тіл та розрахунку теплового випромінювання використовують модель ідеального об'єкта – абсолютно чорного тіла (АЧТ) – тіла, поглинаючого все випромінювання з будь-якої ділянки спектра електромагнітних хвиль. Поряд з поняттям «абсолютне чорне тіло» існує поняття «сіре тіло» - тіла, що мають однакову здатність до поглинання по всій довжині електромагнітних хвиль, їх спектр аналогічний до спектра АЧТ. У загальному ж випадку поглинальна здатність тіл залежить від довжини хвилі і температури, і їх спектр може істотно відрізнятися від спектра абсолютно чорного тіла [15-17].

Закон, що був створений науковим дуєтом Больцманом і Стефаном є одним з основних законів теплового випромінювання. Закон свідчить, що всі тіла, які нас оточують виділяють теплове випромінювання, оскільки завжди дорівнюють температурі абсолютного нуля -273 °С, тобто при підвищенні абсолютної температури у два рази, інтенсивність випромінювання зростає в шістнадцять разів. Закон Стефана-Больцмана виражається випромінювальною здатністю ( $q$ ) АЧТ, що пропорційна четвертому ступеню його абсолютної температури ( $T$ ):

$$q = \sigma \cdot T^4, \quad (1.1)$$

де  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  (Вт/м<sup>2</sup>)/К<sup>4</sup> – константа Стефана-Больцмана.



Для переходу до сірого тіла, необхідно помножити коефіцієнт випромінювання ( $< 1$ ) на отриманий результат. Доцільно зауважити, що закон Стефана-Больцмана свідчить лише про загальну енергію, що випромінюється.

Закон Кірхгофа демонструє відношення випромінюваної здатності ( $E$ ) до поглинаючої здатності ( $A$ ), що є однаковою для усіх об'єктів при заданій температурі ( $T$ ) та не є залежною від форми об'єкта, його хімічних складових тощо:

$$E(\lambda, T) / A(\lambda, T) = e(\lambda, T) \quad (1.2)$$

Тобто, чим більше об'єкт поглинає енергії при заданій температурі ( $T$ ) на відповідній довжині хвилі ( $\lambda$ ), тим більше об'єкт випромінює при даній температурі та довжині хвилі. До прикладу, поверхні з високим ступенем «чорноти» мають гарну поглинальну здатність теплової енергії та є гарними випромінювачами такої енергії, що не можна сказати про блискучі поверхні, адже вони мають погану поглинаючу здатність та низький коефіцієнт поглинання. Реальним тілам характерний коефіцієнт поглинання менше одиниці, тобто вони мають меншу здатність до випромінювання ніж абсолютне чорне тіло [18-20].

Вагомі внески у розвиток термодинаміки випромінювання здійснив визначний німець Вільгельм Він. Його закон ілюструє зміну положення максимуму розподілу енергії в спектрі випромінювання абсолютно чорного тіла. Тобто, довжина хвилі ( $\lambda_{\text{макс}}$ ), на яку припадає максимум енергії в спектрі абсолютно чорного тіла, обернено пропорційна його абсолютній температурі ( $T$ ):

$$\lambda_{\text{макс}} = b / T, \quad (1.3)$$

де  $b = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ м}\cdot\text{К}$  – константа Віна.

Ще один видадний німецьки вчений Макс Планк у далекому 1900 році висунув гіпотезу, що кожен осцилятор випромінює та поглинає енергію кінцевими порціями, іншими словами, квантами. До своєї гіпотези Планк додав новий вид функції  $f(\lambda, T)$ , що повністю відповідала експериментам:

:

$$f(\lambda, T) = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{\left[ \exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1 \right]}, \quad (1.4)$$

де  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – константа Больцмана;

$c = 3 \cdot 10^8$  м/с – швидкість світла у вакуумі;

$T$  – абсолютна температура;

$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – константа Планка;

$\lambda$  – довжина хвилі.

Для приведених температурних значень максимум припадає на ділянку інфрачервоних випромінювань, що і демонструє поділ енергії у спектрі випромінювання абсолютно чорного тіла. Видима частина випромінюваної енергії відповідає заштрихованій частині на рис. 1.2 та займає діапазон від 0,40 мкм до 0,75 мкм [21-23].

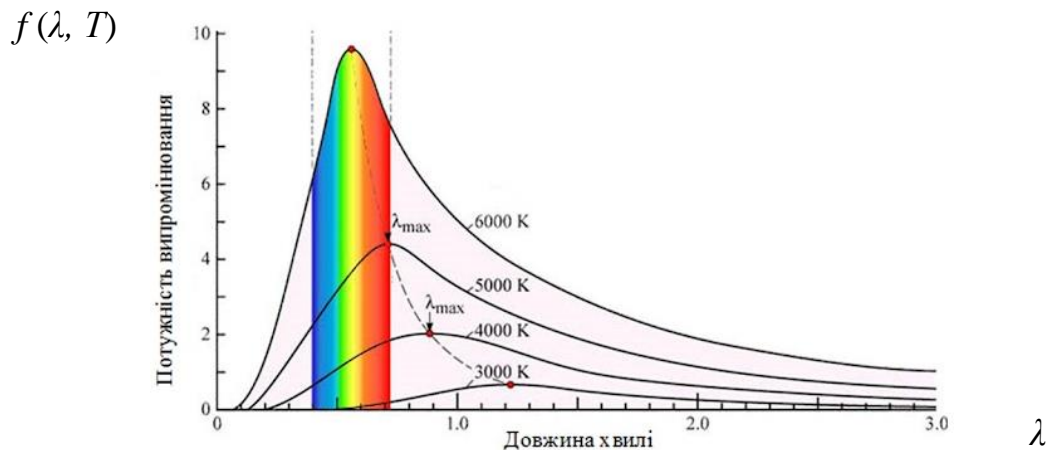


Рис. 1.2. Розподіл енергії у спектрі випромінювання при різних температурах

Вищенаведений рисунок ілюструє залежність функції  $f(\lambda, T)$  від довжини хвилі спектру випромінювання при різноманітних температурних позначках. Тобто, при збільшенні температури значення функції  $f(\lambda, T)$  збільшується по всьому спектру, а її максимум переміщується у бік діапазону, якому характерні короткі хвилі [24-27].

Закони вчених Віна та Планка пояснюють появу світіння у видимому діапазоні спектру нагрітого тіла. Формули законів демонструють, що при підвищенні температурних позначок переважає короткохвильове випромінювання. Розжарені тіла до температури близько  $500^{\circ}\text{C}$  випромінюють світіння видиме людському оку. При поступовому зниженні температури, нагрітим тілам притамане довгохвильове випромінювання, так, наприклад, ми можемо спостерігати перехід від білого світіння розжареного тіла до червоного.

### **1.3. Загальна класифікація, принцип роботи тепловізорів та їх схематичне представлення**

Як вже зазначалося раніше, тепловізорами називають оптико-електронні пристрої, що слугують для вимірювання температури та її градієнту в інфрачервоному діапазоні спектру з подальшим відображенням теплового поля досліджуваного об'єкта на дисплеї. Сучасні тепловізори мають наступні основні елементи у своїй будові: об'єктив, матриця (чутливий елемент) та електронний блок для опрацювання сигналу. Випромінювання з інфрачервоного спектру через оптику фокусується на датчик випромінювання, що подає сигнал у вигляді змінної напруги або електричного опору, далі він перетворюється в електронне зображення, тобто термограму, що відображається на екрані дисплея. Термограма представляє собою зображення об'єкта, оброблене електронікою для відображення на дисплеї таким чином, аби різні градації кольору відповідали розподілу інфрачервоного випромінювання по поверхні об'єкта. Таким чином, спеціаліст, що

використовує пристрій може просто побачити термограму, яка відповідає тепловому випромінюванню, що приходить з поверхні об'єкта [28-30].

Сучасні тепловізори можна класифікувати по ряду критеріїв, але у роботі наведемо, наведемо основні параметри, за якими їх можна розділити на класи в залежності від їх будови або застосування.

За принципом отримання зображення тепловізори слід поділяти на скануючі та матричні. Особливість скануючих тепловізорів або, як їх ще прийнято називати тепловізори з оптико-механічним скануванням, полягає в отриманні термограми шляхом сканування простору. Функціональна схема скануючого тепловізора представлена на рис. 1.3.

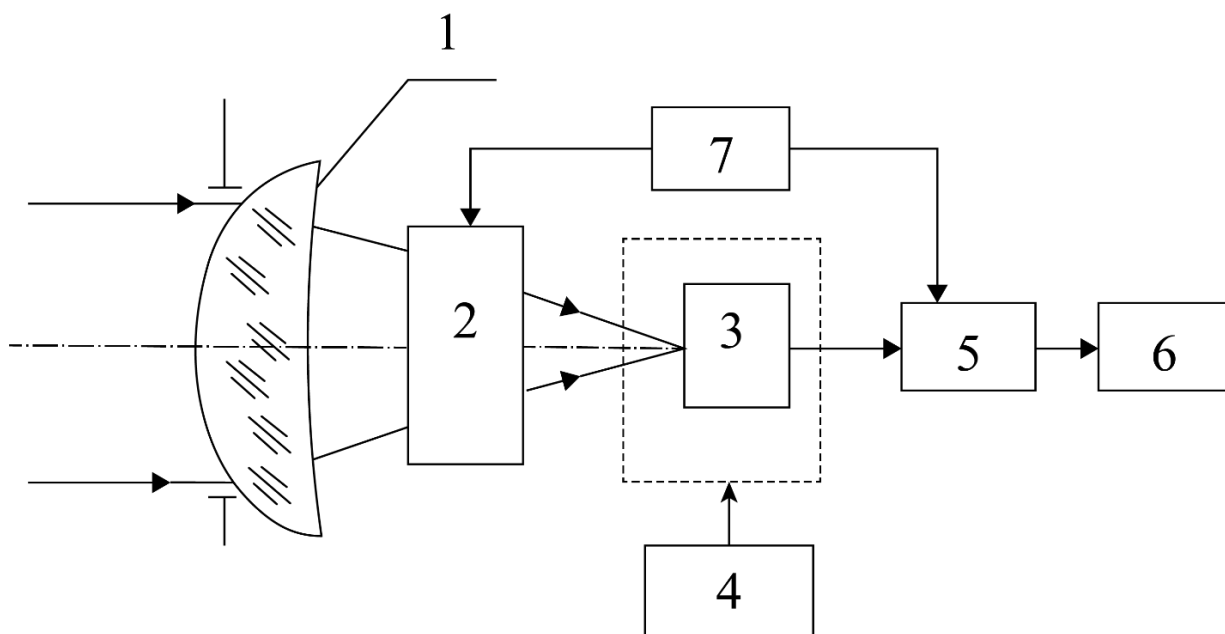


Рис. 1.3. Загальна функціональна схема скануючого тепловізора: 1 – оптична система; 2 – блок оптико-механічного сканування; 3 – датчик; 4 – система охолодження; 5 – електронний тракт; 6 – відеоконтролюючий пристрій; 7 – система синхронізації

Система з гойдаючих та обертаючих дзеркал, а також призми в порядку черги направляє випромінювання на приймач від кожної точки простору, за яким ведеться спостереження. Приймач або датчик, що сприймає

випромінювання може бути одноелементним, лінійкою чутливих елементів чи матрицею невеликих розмірів. Основною перевагою використання скануючих пристроїв прийнято рахувати те, що вимірювання здійснено за допомогою одного датчика в одноелементній системі. Недоліками є наявність у будові рухомих елементів та відносно не швидке формування термограми [31-33].

Загалом система пристрою повинна забезпечувати сканування простору об'єктів як в напрямку рядків по горизонталі, так і по кадру по вертикалі.

Матричні тепловізори у фокальній площині своєї оптичної системи містять багатоелементний приймач інфрачервоного випромінювання – матрицю. На рис. 1.4. представлена узагальнена схема матричного тепловізора.

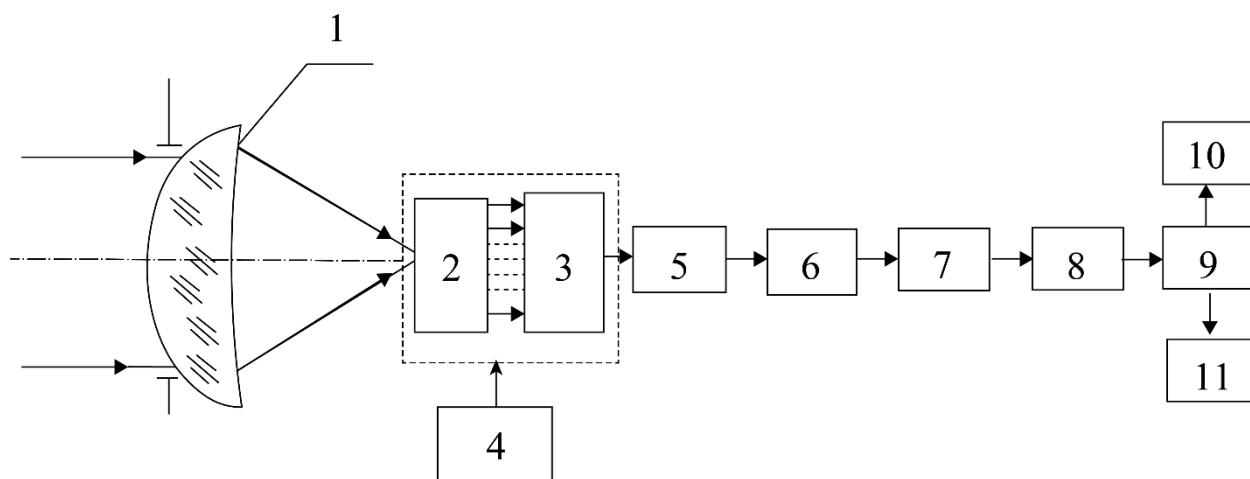


Рис. 1.4. Загальна функціональна схема тепловізора з фокальною матрицею:

- 1 – оптична система; 2 – фокальна матриця із підсилювачами;
- 3 – мультиплексор; 4 – система охолодження; 5 – коректор неоднорідності характеристик чутливих елементів; 6 – аналого-цифровий перетворювач;
- 7 – цифровий коректор неоднорідності; 8 – коректор; 9 – формувач зображення; 10 – дисплей; 11 – цифровий вихід

Результатом перетворення інфрачервоного випромінювання досліджуваного об'єкта датчиком матриці є кожна точка або піксель в термограмі. У сучасних матричних тепловізорах розміри матриці та

термограми сильно відрізняються. В дешевих моделях, представлених на ринку тепловізійних систем розмір матриці складає  $60 \times 60$  пікселів або  $180 \times 180$  пікселів, тоді як у більш професійних пристроях вбудовані матриці  $640 \times 480$  пікселів. Розмір матриці сильно впливає на вартість тепловізора, так як матриця і ІЧ-оптика є найдорожчими елементами тепловізорів [34-36].

Тож скануючі тепловізори застосовують для вузького кола специфічних завдань, де важливе використання унікальних властивостей, тоді як матричні покривають весь спектр більш практичних завдань.

По спектральному діапазону тепловізори слід поділяти на коротко- та довгохвильові.

Короткохвильові тепловізори мають робочий спектральний діапазон від 3 мкм до 5 мкм. Доцільніше називати ці пристрої середньохвильовими, оскільки вони працюють в середньохвильовому інфрачервоному діапазоні. Короткохвильовими їх називають тільки по відношенню до довгохвильових тепловізорів, так як в широкій практиці тепловізійного контролю тепловізієвому вимірювані використовуються тільки ці два спектральних діапазони. Об'єкти таких приборів роблять з кремнію [37-39].

Матриці довгохвильових тепловізорів не потребують додаткового охолодження, а робочий спектральний діапазон складає від від 8 мкм до 14 мкм. Об'єкти для таких пристроїв виготовляють переважно в Німеччині.

За типом виконання поділяють на стаціонарні та переносні. Стаціонарні використовуються для спостереження за фіксованою зоною та передачі інформації по лінії зв'язку. Такі пристрої активно використовують у системах відеоспостереження, на виробництві для фіксування температурного режиму рухомих об'єктів або поверхонь.

Переносні або портативні застосовуються у тепловізійній зйомці об'єктів будівництві, в енергетиці, промисловості та інших сферах. Сучасні моделі представлені у вигляді моноблока, що складається з оптики, матриці, електроніки, дисплею, панелями управління, картами для запису та збереження термограм, а також містить. Такі тепловізори можуть бути

додатково оснащеними фотоапаратами, лампами з додатковою підсвіткою, лазерами та аудіо-гарнітурами. Портативні малогабаритні, їх вага може коливатися від 350 г до 2 кг, а також мати бездротове живлення від акумуляторів [40, 41].

По можливості вимірювання температури тепловізори бувають:

– спостережні – роблять теплове випромінювання об'єктів видимим, представляючи інтенсивність інфрачервоного випромінювання за допомогою обраної колірної шкали або іншими словами палітри;

– вимірювальні призначені для безконтактного вимірювання температури об'єктів та візуалізації температурних полів.

Отже, не дивлячись на різноманітність тепловізорів, у них всіх однакова задача – перетворення інфрачервоних променів у візуальні термограми, що відображаються на дисплеї.

#### **2.4. Характеристика аналогів на сучасному ринку тепловізійних систем**

На сучасному ринку тепловізійних систем існує величезний асортимент різних моделей, що можуть відрізнятися одне від одної ціною, габаритністю, дизайном, технічними характеристиками, різноманітням функціонала, особливостями програмного забезпечення, наявністю застосунків для смартфонів тощо.

Призначення тепловізора FLUS IR-893 полягає у візуалізації розподілу температури, водночас має вбудований термогігрометр для контролю показників мікроклімату, пристрій характеризується легкістю, мобільністю та простотою використання, а також має прийнятну цінову політику. Використовується у сферах будівництва, енергоефективності, зокрема, при витоках тепла через склопакети, стінах, покрівлі даху, фундамент та підлогу, радіаторах, використовується при контролі гарячого водопостачання, виробничого обладнання – трансформаторів, електроустановок, силових

кабелів, верстатів, електродвигунів, вимикачів та розеток. Загальний вигляд тепловізора FLUS IR-893 наведено на рис. 1.5.



Рис. 1.5. Загальний вигляд тепловізора FLUS IR-893

Пристрій починає свою роботу одразу після вмикання, на екрані відображається термограма з градієнтами.

Venetech GT3251 призначений для безконтактного вимірювання та відображення температури об'єкта у реальному часі, а також відображає теплові образи базуючись на температурних відмінностях їх ділянок. Пристрій точно та оперативно відображає температуру поверхонь на дисплеї TFT. Даний пристрій дає можливість переглянути теплове зображення досліджуваного об'єкта на фоні його відображення у видимому світлі,



причому глибину можна коригувати, це є істотною перевагою, що значно спрощує аналіз та ідентифікацію як самого об'єкта, так і його вагомих елементів. Тепловізор Venetech GT3251 ідеально пристосований до роботи в жорстких умовах

Спеціально розроблений для застосувань в жорстких промислових умовах, широко використовується в технічному обслуговуванні, налагодженні електричних систем, електромеханічного та технологічного устаткування, кондиціонерів, вентиляційних системах тощо (рис. 1.6).



Рис. 1.6. Загальний вигляд тепловізора Venetech GT3251

Прилад має компактні розміри та невелику вагу, простий у використанні. Даний тепловізор користується популярністю у інженерів, що працюють у галузях електронної промисловості, генерування електроенергії, енергоаудиту та інших подібних сферах.

Тепловізор Xintest НТ-02 використовується здебільшого при аудиті енергоресурсів та призначений для сканування приміщень на місця витоку тепла, перевірки електронних збірок та систем опалення, якості теплоізоляції, діагностики холодильників, кондиціонерів, вентиляції та двигунів (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Загальний вигляд тепловізора Xintest НТ-02

Тепловізор НТІ (Xintest) НТ-02 дуже простий у використанні, тому його можуть використовувати як професіонали, так і звичайні користувачі. Пристрій має великий діапазон виміру температур від  $-20$  до  $+300^{\circ}\text{C}$ .

Особливістю даного пристрою виступає можливість візуалізації всіх проблемних місць на кольоровому дисплеї, що дозволяє визначити центральну точку виміру температури, тоді як камери інших пристроїв вимірюють кожен параметр окремо.

Проаналізуємо й порівняємо технічні особливості тепловізорів та узагальнимо отримані дані в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Порівняльна характеристика аналогів проєктованого тепловізора

Параметр	Тепловізор		
	FLUS IR-893	Benetech GT3251	Xintest HT-02
Діапазон температур	-20...380°C	-20...400°C	-20...300°C
Дозвіл ІЧ-камери	33×33 (1089 пікселів)	32×32	60×60 (3600 пікселів)
Точність вимірювань	±2°C	±1.8°C	±2°C
Частота оновлення камери	9 Гц	9 Гц	6 Гц
Коефіцієнт емісії	0,1-1,0	0,1-1,0	0,1-1,0
Довжина хвилі	8 – 14 мкм	8 – 14 мкм	8 – 14 мкм
Колірна гамма	колір нагрівання заліза, райдужне колірне сійво високої контрастності; шкала рівнів сірого кольору; інвентування	оксид заліза червоний, кольоровий, чорно-білий	кольорова палітра
Живлення	AA 1,5 В – 4 шт.	AA 1,5 В – 4 шт.	AA 1,5 В – 4 шт.
Розмір	223×88×65 мм	202×64×77 мм	62×95×212 мм
Вага	280 г	254 г	320 г
Спеціальні функції	налаштування коефіцієнта емісії, ручне налаштування кольорової палітри в залежності від контрастності, наявність карти пам'яті для оброблення результатів вимірювань на комп'ютері, наявність датчиків для вимірювання показників мікроклімату	налаштування коефіцієнта емісії, ручне налаштування кольорової палітри в залежності від контрастності, наявність карти пам'яті для оброблення результатів вимірювань на комп'ютері, наявність мобільного додатку	налаштування коефіцієнта емісії, ручне налаштування кольорової палітри в залежності від контрастності

З даних наведених у табл. 1.1 можна сказати, що кожен з представлених приладів має більшість аналогічних технічних особливостей, проте вони

відрізняються кількістю пікселів у матриці та наявністю тих чи інших спеціальних функцій. Зокрема, мова йде про застосунки для смартфонів, кількість кольорів у колірній гаммі.

## **Висновки до розділу 1**

У даному розділі було проаналізовано та розглянуто теоретичні основи термометрії, зокрема, можна зробити наступні висновки:

- поява тепловізорів відкрила перед вченими нові можливості в дослідженні теплових процесів. Цей прилад дозволяє візуалізувати розподіл температури, даючи наочну і, що важливо, точну інформацію про ступінь нагріву різних ділянок досліджуваного об'єкта;

- розгляд основних законів теплового випромінювання дав змогу зрозуміти на чому базуються тепловізори та, тщо є підґрунтям їх роботи;

- огляд принципів роботи основних видів тепловізорів, основних представників даного роду пристроїв дав змогу більше поринути у побудову приладу, що в подальшому слугувало міцною базою для проектування власного приладу.

## РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ ТА РОЗРОБКА ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ СМАРТФОНУ

### 2.1. Функціональна схема пристрою тепловізійної системи

Функціональна схема покликана відобразити процеси, що відбуваються у функціональних колах пристроїв.

Функціональна схема тепловізійної системи представлена на рис. 2.1.

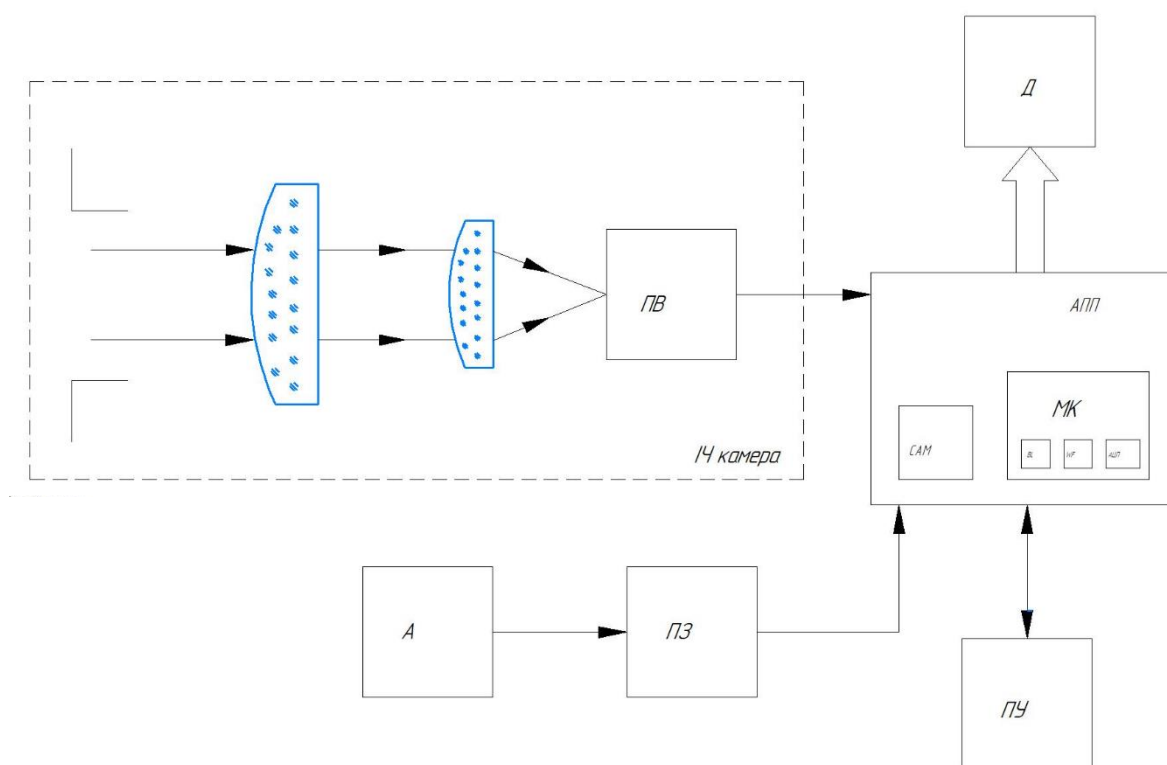


Рис. 2.1. Функціональна схема тепловізійної системи

Інфрачервоні промені від досліджуваного об'єкта прямують та фокусуються через оптичну систему пристрою на датчик, що приймає ІЧ-випромінювання (ПВ). Від датчику вже відцифрований сигнал слідує до апаратно-програмної платформи (АПП) на подальше оброблення. АПП у своїй

будові вже має мікроконтролер (МК) ESP32 з 12-ти бітним аналого-цифровим перетворювачем (далі – АЦП).

Обмін даними між пристроєм та смартфоном здійснюється за допомогою Bluetooth-модуля (BL), який вбудовано в МК. Доцільно зазначити, що в мікроконтролер вбудований модуль WI-FI, який також можна використовувати для передачі даних. АПП має камеру 2 Мп, яку можна використовувати для додаткового накладання на теплове зображення, що має візуально покращити термограму. Отримані результати вимірювання формуються у зображення, яке залежно від температури перефарбовується в певний колір та виводиться на TFT-дисплей (Д) діагоналю 1,8 дюйма. Управління пристроєм відбувається за допомогою системи, що складається з сенсорних та механічних кнопок (ПУ). Джерелом живлення є літій-іонний акумулятор 18650 (А), до якого підключено плату зарядки (ПЗ) з підсиленням вихідного струму до 5 В.

Функціональна схема є гарним підґрунтям для побудови макету пристрою (рис. 2.2).

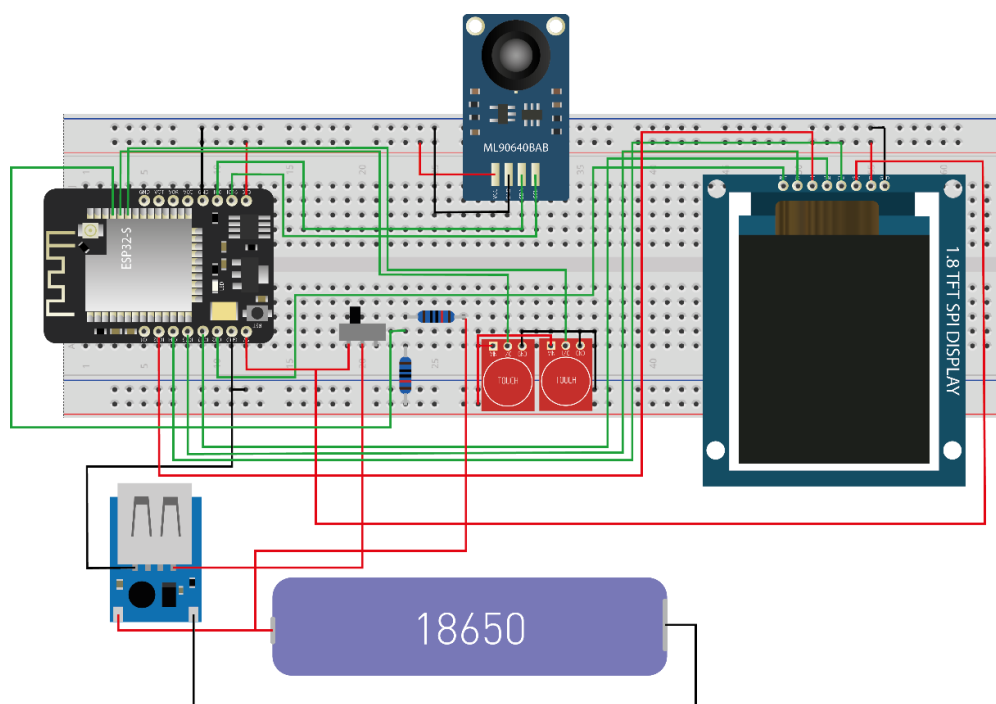


Рис. 2.2. Макет тепловізійної системи

Детальний розгляд усіх комплектуючих проектованої тепловізійної системи, їх технічні особливості та переваги розглянуто в наступному розділі.

## 2.2. Моделювання оптичної системи тепловізора

Перший крок моделювання оптичної системи передбачає вибір матеріалу, з якого вона буде виготовлена. Стандартний матеріал, що використовується для лінз тепловізорів – германій. Діапазон інфрачервоного випромінювання, що пропускається ним складає 8 – 14 мкм, що дозволяє виявляти об’єкти за рахунок їх власного випромінювання.

Оптична система проектованого нами тепловізора складається з двох германієвих лінз, що дало змогу сфокусувати зображення на обраній нами матриці та досягти великого кута зору системи. Моделювати оптичну систему будемо за допомогою програми Zemax. Конструктивні параметри проектованої нами системи наведені на рис. 2.3.

Surf>Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic	Par 0 (unused)	Par 1 (unused)	Par
OBJ	Standard	Infinity	Infinity		Infinity	0.000			
STO	Standard	Infinity	4.000		1.900	0.000			
2*	Standard	9.061 V	1.500	GERMANIUM	3.800 U	0.000			
3*	Standard	21.020 V	1.380 V		3.800 U	0.000			
4	Standard	5.029 V	1.000	GERMANIUM	2.477	0.000			
5	Standard	5.335 V	1.370 V		2.056	0.000			
IMA	Standard	Infinity	-		1.196	0.000			

Рис. 2.3. Конструктивні параметри оптичної системи тепловізора у Zemax

Основними конструктивними параметрами було задано робочій спектральний діапазон  $\Delta\lambda = 8 - 14$  мкм, розмір пікселя 60 мкм, кут поля зору  $2\omega = 40^\circ$ , діаметр вхідної зіниці  $D = 3.8$  мм, відносний отвір  $D / f' = 1 : 0.9$ .

Згідно введених даних ми отримали наступний вигляд моделі оптичної системи (рис. 2.4).

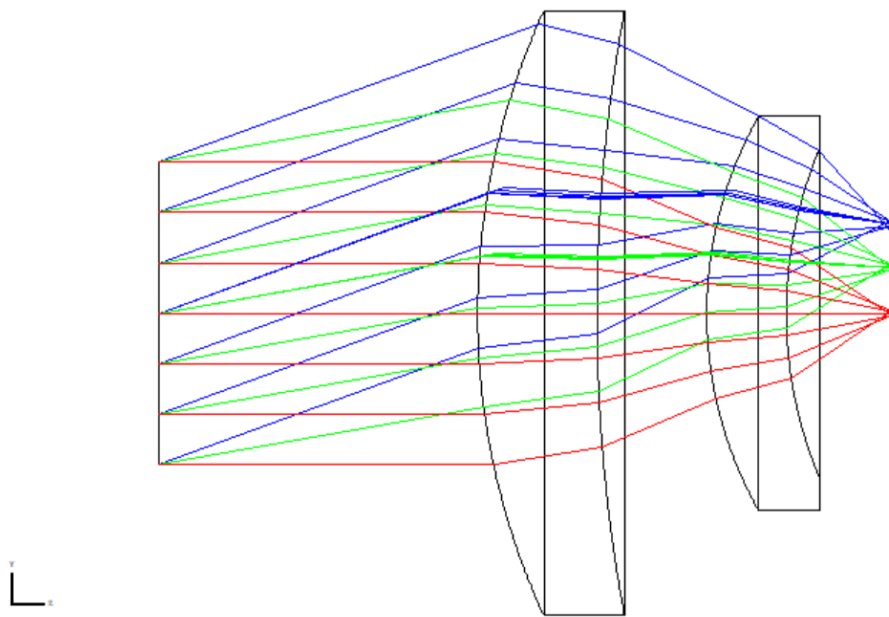


Рис. 2.4. Модель оптичної системи тепловізора

Функціонал Zemax дав можливість отримати також тільнову модель оптичної системи (рис. 2.5).

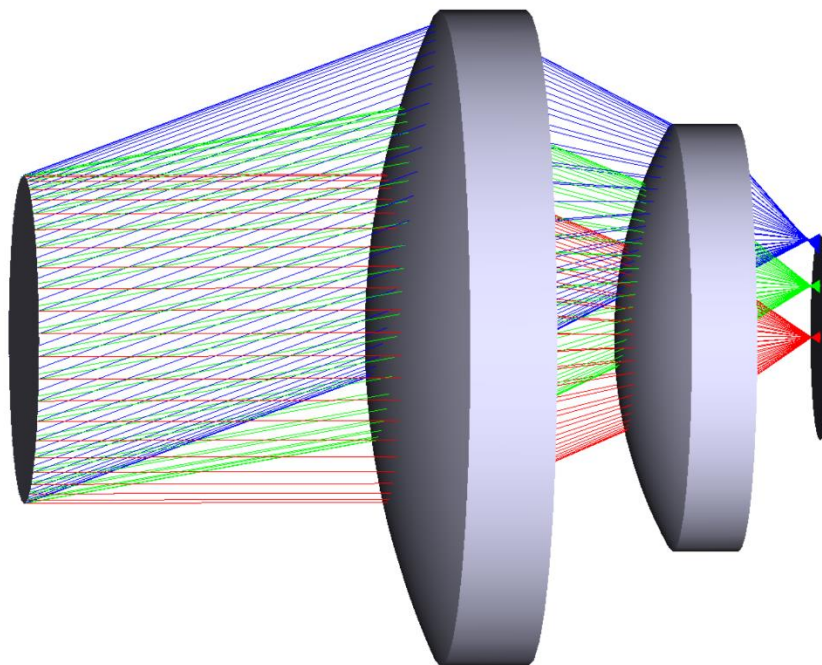


Рис. 2.5. Тіньова модель оптичної системи тепловізора



Як бачимо з рисунку ІЧ-промені проходять через систему лінз та фокусуються прямо на матрицю приймача випромінювання.

На основі моделювання ми отримали наступні параметри оптичної системи (рис. 2.6).

```

System/Prescription Data
File : C:\Users\Aptryp\Downloads\LENS2021_6.zmx
Title:
Date : 09.12.2021

GENERAL LENS DATA:

Surfaces          :          6
Stop              :          1
System Aperture   : Entrance Pupil Diameter = 3.8
Glass Catalogs    : SCHOTT LZOS INFRARED
Ray Aiming        : Off
Apodization       : Uniform, factor = 0.00000E+000
Temperature (C)   : 2.00000E+001
Pressure (ATM)    : 1.00000E+000
Adjust Index Data To Environment : Off
Effective Focal Length : 3.272214 (in air at system temperature and pressure)
Effective Focal Length : 3.272214 (in image space)
Back Focal Length  : 1.475712
Total Track       : 9.249695
Image Space F/#    : 0.8611089
Paraxial Working F/# : 0.8611089
Working F/#       : 0.8899937
Image Space NA     : 0.5021365
Object Space NA    : 1.9e-010
Stop Radius        : 1.9
Paraxial Image Height : 1.190988
Paraxial Magnification : 0
Entrance Pupil Diameter : 3.8
Entrance Pupil Position : 0
Exit Pupil Diameter : 16.01315
Exit Pupil Position : 13.89519
Field Type         : Angle in degrees
Maximum Radial Field : 20
Primary Wavelength : 8 µm
Lens Units         : Millimeters
Angular Magnification : -0.2373049

Fields            : 3
Field Type        : Angle in degrees
#      X-Value    Y-Value    Weight
1      0.000000   20.000000  1.000000
2      0.000000   10.000000  1.000000
3      0.000000   0.000000   1.000000

Vignetting Factors
#      VDX      VDY      VCX      VCY      VAN
1      0.000000  0.000000  0.000000  0.000000  0.000000
2      0.000000  0.000000  0.000000  0.000000  0.000000
3      0.000000  0.000000  0.000000  0.000000  0.000000

Wavelengths      : 5
Units: µm
#      Value      Weight
1      8.000000    1.000000
2      9.000000    1.000000
3      10.000000   1.000000
4      11.000000   1.000000
5      12.000000   1.000000

```

Рис. 2.6. Загальні параметри змодельованої оптичної системи

Оцінимо якість зображення оптичної системи за просторово-частотними, енергетичними та геометричними характеристиками. Просторово-частотні характеристики відображає модуляційна передавальна функція (рис. 2.7).

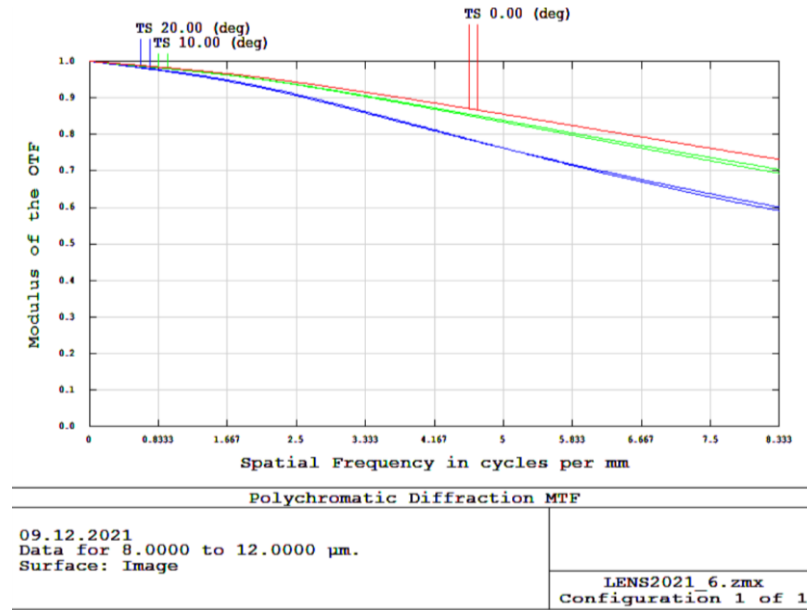


Рис. 2.7. Модуляційна передавальна функція оптичної системи

На рисунку край поля зору об'єктиву  $\omega = 20^\circ$  відображається синім коліром, осьовий промінь з  $\omega = 0^\circ$  зображено червоною кривою на графіку.

Енергетичні характеристики оптичної системи оцінимо за допомогою функцію концентрації енергії (рис. 2.8).

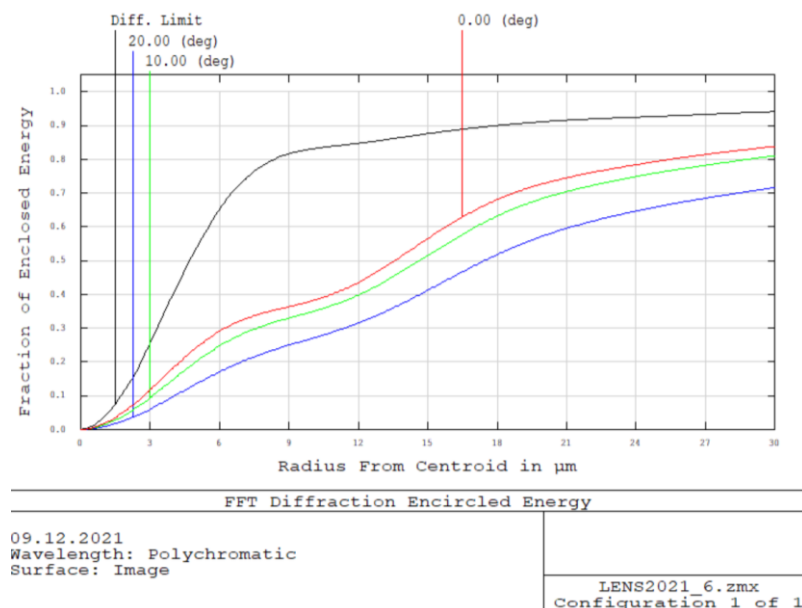


Рис. 2.8. Функція концентрації енергії оптичної системи тепловізора

Геометричні характеристики оцінемо за допомогою діаграми плям розсіювання (рис. 2.9).

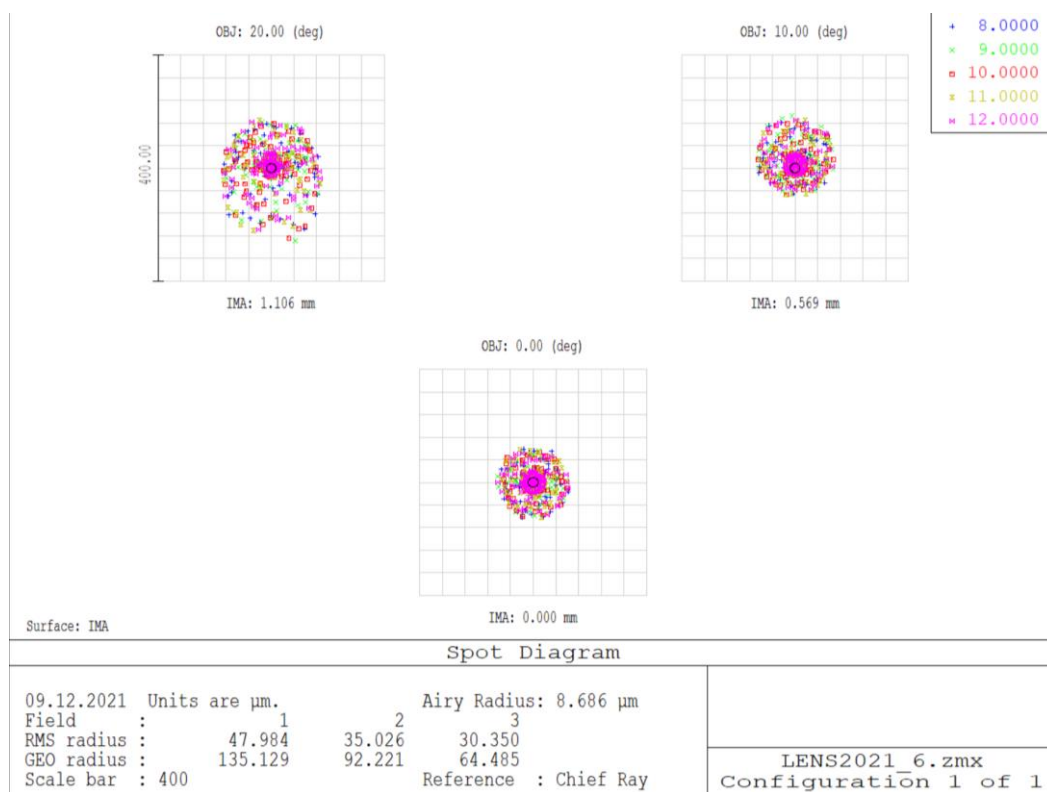


Рис. 2.9. Діаграма плям розсіювання оптичної системи тепловізора

Отже, змодельована оптична система тепловізора є достатньо оптимізованою та ефективною, що дасть змогу сконструювати достатньо точний по вимірюванням пристрій.

## 2.2. Розробка застосунку для смартфонів

Для зручності використання пристрою додатково було розроблено мобільний застосунок. У застосунку користувачі зможуть здійснити вимірювання дистанційно від приладу (у разі стаціонарного використання та фіксування пристрою для вимірювання об'єкту у різні часові проміжки), переглянути останні вимірювання, ознайомитись з тенденцією змін

вимірювань, зберегти звіти та поділитись з іншими. Програмне забезпечення було розроблене у середовищі Unity мовою програмування C# (C Sharp) (див. додаток Б).

Скачати даний застосунок можна на платформах App Store та Google Play. Для старту роботи необхідно вибрати на головному екрані смартфона ярлик з застосунком ТЕРЛО. Після завантаження додатку з'являється інтерфейс з функціональними блоками. Перший крок роботи з інтерфейсом – підключення пристрою до застосунку двома способами на вибір «З'єднання за допомогою Bluetooth» або «З'єднання за допомогою Wi-fi» (рис. 2.10).



Рис. 2.10. Інтерфейс застосунку ТЕРЛО

Після обраного типу підключення користувач повертається у головне меню застосунку. Наступний після блоку «Підключення» слідує блок «Останнє вимірювання», в якому відображається останні показники виміру

досліджуваного об'єкту, а точніше його термограма з показником найвищої температури. Слідом йде блок «Фіксування об'єкту», його роль заключається у можливості проведення дистанційного дослідження об'єкта, у тому разі коли пристрій зафіксовано в окремому місці та використовується як стаціонарний тепловізор [42].

Отриманною термограмою користувач має можливість поділитися в різних месенджерах та по E-mail (рис. 2.11).

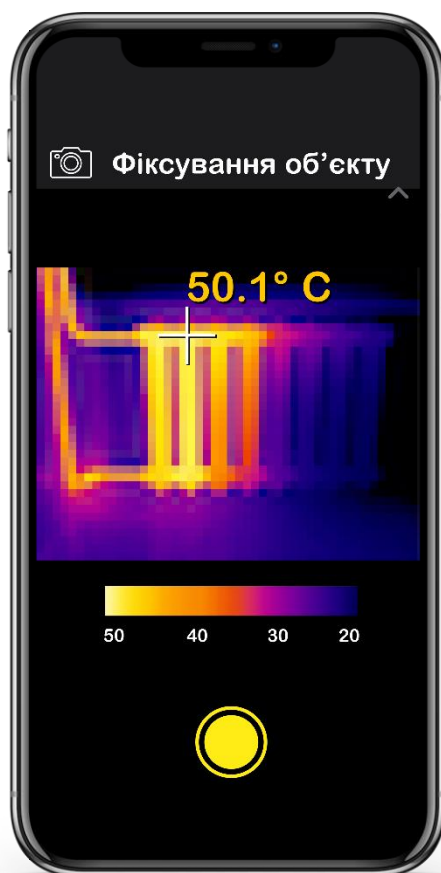


Рис. 2.11. Загальний вигляд блоку «Фіксування об'єкту»

Блок «Збережені фото» містить останні термограми досліджуваних об'єктів, якими можна поділитися з іншими людьми. Останній блок в інтерфейсі – «Налаштування». Можливості даного блоку полягають у дистанційному налаштуванні тепловізору через смартфон або інший девайс.

Загальний вигляд блоків «Збережені фото» та «Налаштування» наведені на рис. 2.12.

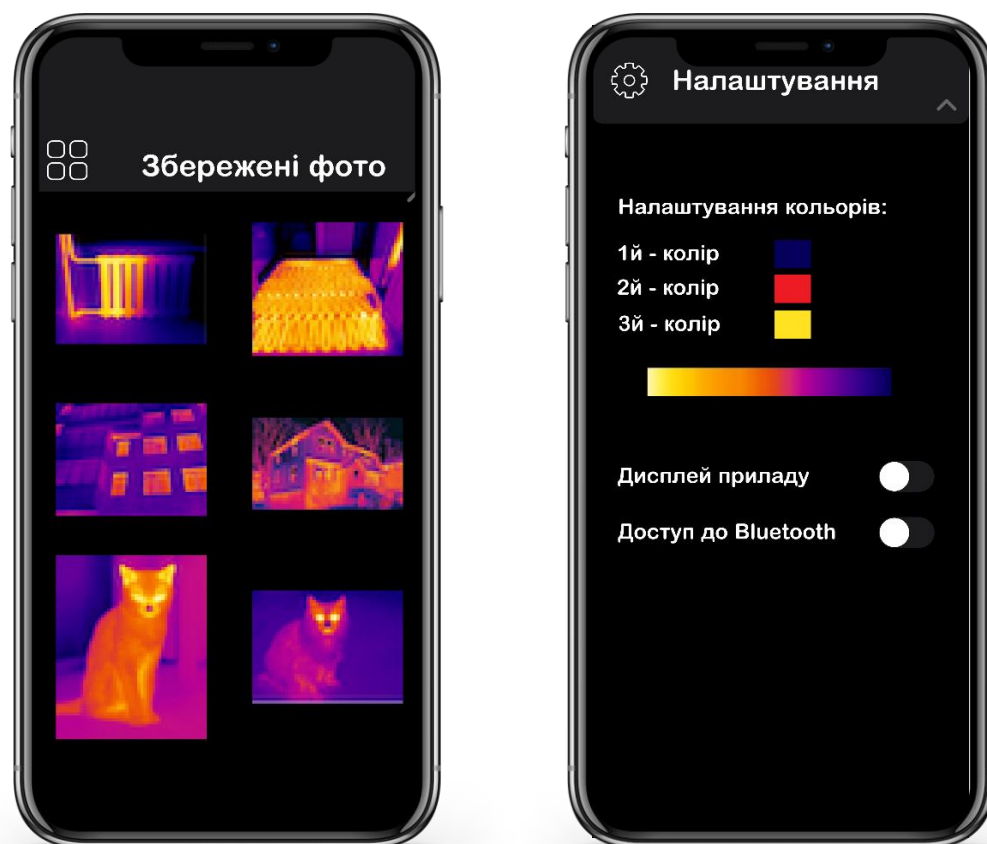


Рис. 2.12. Вигляд блоків «Збережені фото» та «Налаштування»

Головна мета застосунку для смартфонів TEPLO полягає в максимально простому, зрозумілому та ефективному дослідженні тепловтрат споруд та інших об'єктів будь-яким користувачем.

#### **2.4. Моделювання корпусу та огляд принципу роботи тепловізійної системи**

Функціонал пристрою передбачає здійснення тепловізійного вимірювання об'єктів, що потребують додаткового діагностування вузьких місць у теплоізоляції.

За допомогою програми Компас 3D було змодельований загальний вигляд майбутнього пристрою та розташування його комплектуючих.

Для увімкнення пристрою необхідно перемістити перемикач (1) з положення OFF в положення ON. Після увімкнення на дисплеї з'явиться логотип arTERLO. Для старту вимірювань потрібно натиснути ліву кнопку (2) пристрою, для отримання фіксованої термограми потрібно натиснути ліву кнопку знову. Права кнопка (3) відповідає за вхід та вихід у меню налаштування. Для переходу у меню потрібно затиснути праву кнопку на 2 с, після звичайним дотиком перемикає позиції у списку налаштувань приладу. Для того, щоб вибрати необхідне налаштування необхідно затиснути ліву на 2 с. Загальний вигляд тепловізійної системи наведено на рис. 2.13.

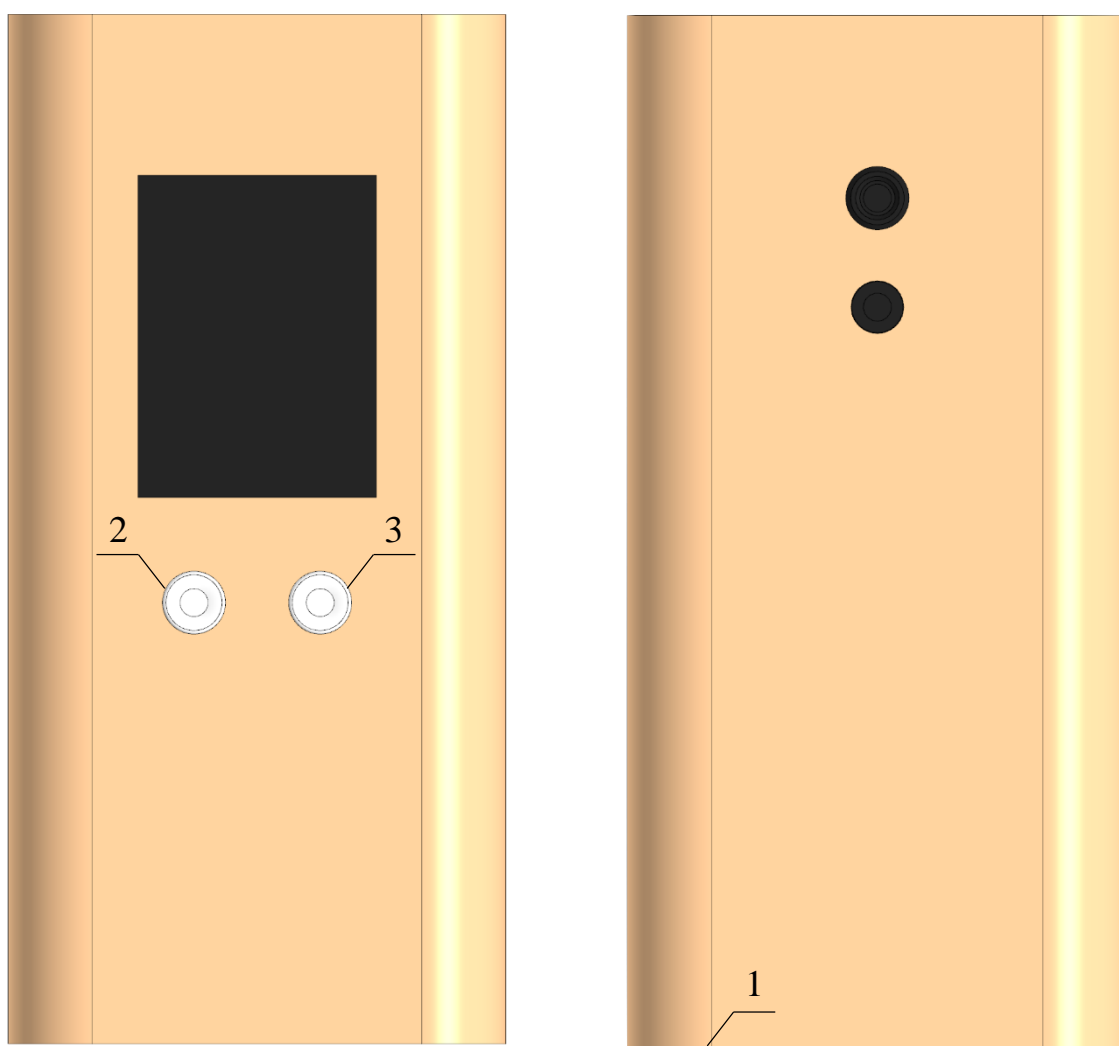


Рис. 2.13. Загальний вигляд тепловізійної системи

На рис. 2.14 отвір під номером (4) містить Micro USB-вхід для зарядки пристрою, так як джерелом живлення слугує літій-іонний акумулятор. номером (4) містить Micro USB-вхід для зарядки пристрою (5) можна використовувати як Power Bank для інших девайсів [43].

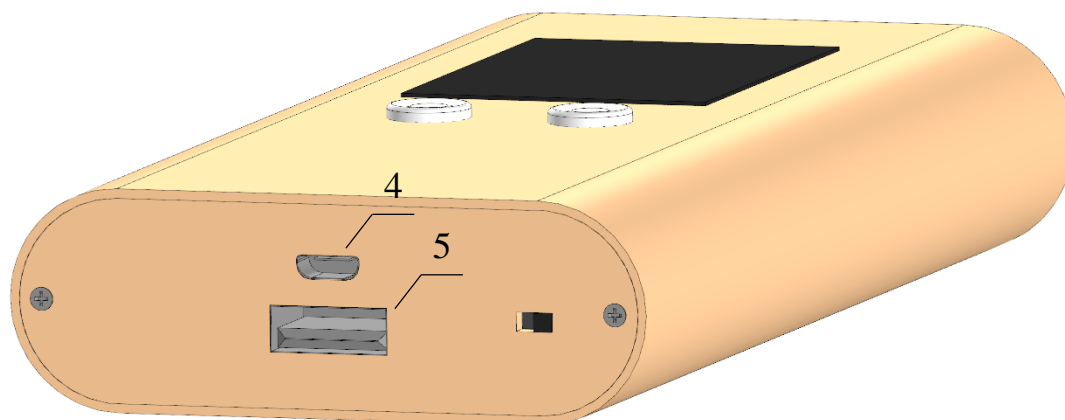


Рис. 2.14. Частина корпусу з зарядним отвором та тумблером вмикання пристрою

Як видно з моделі пристрою він є ергономічним та простим у використанні, тому буде мати великий попит як у спеціалістів у їх щоденній роботі, так і у звичайних користувачів.

## Висновки до розділу 2

У другому розділі було спроектовано тепловізійну систему. Відповідно, ми отримали висновки:

– було сформовано функціональну схему приладу для тепловізійного обстеження об'єктів, що стало міцною основою для розробки макету майбутнього приладу та дало змогу найбільш оптимально підібрати для нього комплектуючі;



– у розділі було здійснено моделювання оптичної системи тепловізора в програмі Zemax, а це у свою чергу дозволило оптимізувати систему та змодельовати її графічно

– було спрограмовано застосунок для смартфонів, що дасть змогу користувачу оперативно отримати тепловізійні обстеження об'єкта у вигляді градієнтної термограми, дасть можливість отримати динаміку вимірювань та поділитися звітами про дослідження у реальному часі.

– заключним підпунктом було проектування корпусу та розташування комплектуючих всередині тепловізійної системи, дане конструювання дало змогу зробити компактний та ергономічний пристрій у використанні.

## РОЗДІЛ 3. ПІДБІР КОМПЛЕКТУЮЧИХ ДЛЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ

### 3.1. Апаратно-програмна платформа ESP32-CAM

ESP32-CAM – налагоджувальна плата на основі Wi-Fi/Bluetooth-модулів ESP32-S та камери OV2640 з вбудованим гніздом для microSD-карт пам'яті. Гармонійне поєднання елементів є корисним при складанні безлічі пристроїв, зокрема, робототехніки, домашня автоматизація, сканери різних графічних кодів та інше (рис. 3.1).

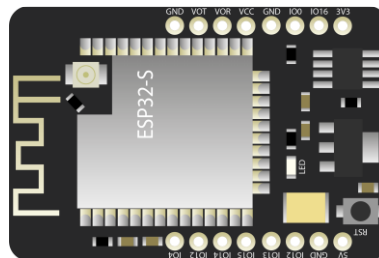


Рис. 3.1. Зовнішній вигляд апаратно-програмної платформи ESP32-CAM

Роздільна здатність матриці камери – 2 Мп. На платі встановлено потужний білий світлодіод, що керується через GPIO. Програмувати модуль ESP32-CAM можна за допомогою Arduino IDE.

Наведемо основні технічні характеристики ESP32-CAM (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Технічні характеристики ESP32-CAM

Характеристики	Параметри
1	2
Підтримка Wi-Fi сети	802.11 b/g/n/e/i
Максимальна частота мікроконтролера	240 МГц
Об'єм ОЗП	520 КБ вбудований + 4М зовнішній PSRAM
Об'єм ПЗУ (в складі чіпу ESP32)	448 КБ
Об'єм ПЗУ (зовнішній чіп на платі)	32 Мбіт
Напруга живлення	5В
Максимально споживчий струм (Wi-Fi + камера + подсветка)	350 мА

1	2
Діапазон робочої температури	-20°C..+85°C
Розмір плати	40.5 x 27 мм

Технічні характеристики ESP32-CAM повністю влаштовують для побудови тепловізора. Основними перевагами такої АПП є:

- можливість проектування малогабаритних пристроїв;
- доступність;
- економія часу за рахунок простоти використання;
- технологічні характеристики, що значно краще за аналоги;
- кроссплатформеність – програмне забезпечення підходить для операційних систем Windows, Linux та macOS.

ESP32-CAM користується великим попитом завдяки своїй зручності та багатофункціональності.

### 3.2. Дисплей Y-1.8 SPI TFT v2

YU-1.8 SPI TFT v2 – графічний дисплей, що базується на контролері ST7735 з керуванням через SPI. Роздільна здатність – 160×128 пікселів. Плата дисплею містить вбудований роз’єм для карток SD (рис. 3.2).

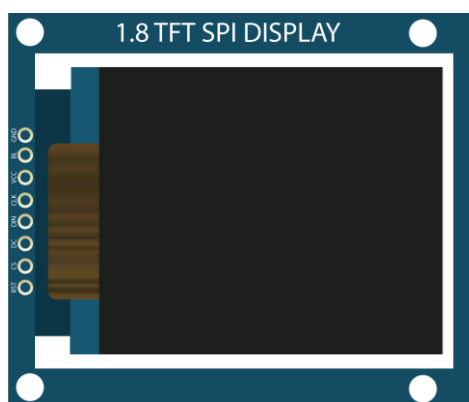


Рис. 3.2. Зовнішній вигляд дисплея YU-1.8 SPI TFT v2

Thin Film Transistor (TFT) – це рідкокристалічний дисплей, основою якого є матриця з тонкоплівкових транзисторів. При подачі напруги кристали на матриці повертаються один до одного, в результаті чого утворюється чорний колір. Якщо ми вимкнемо напругу, кристали навпаки утворюють білий колір. Змінність напругим дозволяє формувати будь-який колір на кожному окремо взятому пікселі. Технічні характеристики дисплею наведемо у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Технічні характеристики дисплею HY-1.8 SPI TFT v2

Характеристики	Параметри
Інтерфейс	SPI
Робочий струм	3.3...5 В
Діагональ	1.8"
Розміри	45мм × 53 мм
Роздільна здатність	160×128 пікселів

Головною перевагою TFT дисплеїв є відносно невисока ціна виробництва порівняно з сучасними аналогами. Крім того, такі матриці мають відмінну яскравість і час відгуку. Завдяки чому, спотворення під час перегляду динамічних сцен непомітні.

### 3.3. Матрична тепловізійна ІЧ-камера MLX 90640-D55

Матрична тепловізійна ІЧ-камера MLX 90640-D55 працює через інтерфейс I2C та має напругу живлення в діапазоні від 3,3 до 5 В. Датчик сумісний з багатьма платформами, зокрема, з як: Arduino, Raspberry Pi та STM (рис. 3.3).

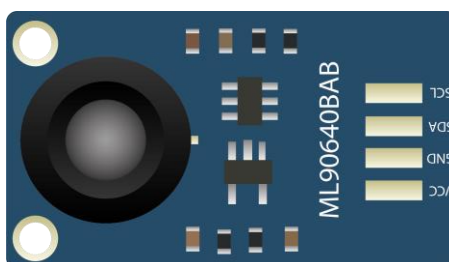


Рис. 3.3. Зовнішній вигляд матричної тепловізійної ІЧ-камери MLX 90640-D55

MLX90640-D55 використовує масив теплових датчиків дальнього ІЧ-діапазону, що дає змогу виявляти інфрачервоний розподіл об'єктів у полі зору та перетворити дані температури поверхні за допомогою розрахунків, а потім генерувати зображення тепловізійних вимірювань.

Наведемо основні технічні характеристики MLX90640-D55 (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Технічні характеристики датчика MLX90640-D55

Характеристики	Параметри
Інтерфейс	I2C
Діапазон температур	-40°C...85°C
Кут	55°×35°
Напруга	3.3В/5В
Роздільна здатність	32×24; ±1°C
Розмір	28×16 мм
Струм	<23мА
Частота	0.5Гц~64Гц

Основними вагомими чинниками, що вплинули на остаточний вибір саме датчика MLX90640 є доступність, гарні технічні характеристики, малогабаристність та низьке енергоспоживання.

### 3.4. Вибір додаткових елементів: плати зарядки, живлення та сенсорного датчика управління

Мікросхема HT4928S має вбудований підсилювач напруги до 5 В, що ідеальним варіантом для живлення апаратно-програмної платформи ESP32-CAM, крім цього має модуль PowerBank для зарядки інших девайсів (рис. 3.4).

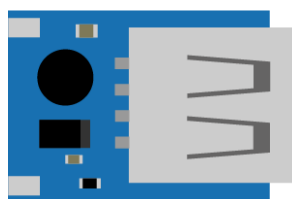


Рис. 3.4. Плата зарядки HT4928S з підсилювачем напруги

Технічні характеристики плати зарядки NT4928S наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Технічні характеристики плати зарядки NT4928S

Характеристики	Параметри
Вхідна напруга	5 В
Максимальний вхідний струм	1 А
Струм споживання в режимі очікування:	8 мкА
Розміри	22×18×10 мм
ККД	85%
Вага	4 г

Основними чинниками вибору акумулятора як джерела є:

- екологічність. Після повного використання батарейок, постає питання їх утилізації, тоді як акумулятори слугують значно довше та їх можна заряджати після розряду;
- економічність. Акумулятори необхідно купувати рідше.

Літій-іонний акумулятор NCR18650B має ємність 3400mAh. Такий акумулятор розрахований на роботу на малих та середніх струмах, що не перевищують 5-6 Ампер, тобто може використовуватися для більшості електричних приборів, що потребують живлення від акумулятора (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Літій-іонний акумулятор NCR18650B

Мінімальна напруга при розрядженні – 2,5 В, максимальна при заряді – 4,2 В, номінальна – 3,6 В. Акумулятор не має вбудованої плати захисту від розряду, і, відповідно, бажано його використання з пристроями, що не допускають розряду нижче 2,5В. Технічні характеристики наведені у табл. 3.5.

## Технічні особливості акумулятора NCR18650B

Характеристики	Параметри
Тип акумулятора	Li-Ion
Типорозмір	18650
Ємність	3200...3400мАч
Робоча Напруга	2,5...4,2 В (номінальне 3.6 В)
Максимальний струм	6 А
Максимальний зарядний струм	1,7 А (0.5С)
Температура навколишнього середовища при розряді	-20 ...+60 °С
Температура навколишнього середовища при заряді	+10 ...+45 °С
Внутрішній опір	~40 мОм
Розміри	18,5×65 мм
Вага	46 г

Термін експлуатації такого акумулятора складає 300 циклів зарядів та розрядів, при цьому ємність акумулятора може впасти до 80% від номінальної.

Керування пристроєм відбувається за рахунок двох вбудованих сенсорних датчика ТТР223 Touch key. Даний датчик має гарну чутливість до дотиків та працює через корпуси зі скла або пластику (до 3 мм). Датчик ТТР223 Touch key наведено на рис. 3.6.

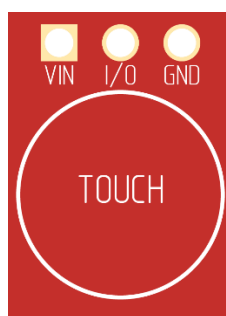


Рис. 3.6. Сенсорний датчик ТТР223

Датчик ТТР223 реагує за 60 мс в активному режимі та за 220 мс у режимі зменшеного споживання енергії, має напругу живлення в діапазоні від 2 до 5,5 В. Характеризується малогабаритністю, відповідно вага складає 3 г, а розміри становлять 24×24 мм.

Зібрані на макетній платі комплектуючі дали змогу побудувати робочий пристрій для візуалізації термограм. Після проведення всіх робіт по налаштуванню, пристрій на 100% готовий до кінцевої збірки. Макетна плата тепловізійної системи наведена на рис. 3.7.

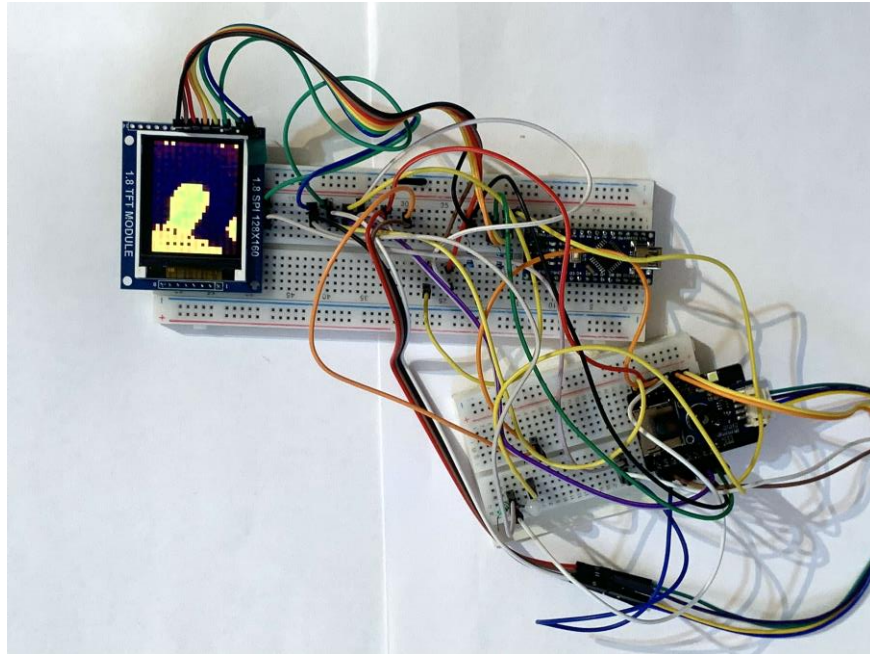


Рис. 3.7. Макетна плата тепловізора

Гармонійно підібрані комплектуючі не суперечать роботі, а навпаки доповнюють одне одного, що дало змогу сконструювати ефективний пристрій.

### **Висновки до розділу 3**

У третьому розділі було підібрано набір комплектуючих елементів для конструювання тепловізійної системи.

Основними елементами пристрою є апаратно-програмна платформа ESP32-CAM, дисплей Y-1.8 SPI TFT v2, матрична тепловізійна ІЧ-камера MLX90640-D55 та додаткові елементи такі як плата зарядки та сенсорні кнопки, що покликані значно полегшити роботу з пристроєм. Набір елементів,



що використовується у побудові пристрою дали можливість зробити компактний та ергономічний пристрій.

## РОЗДІЛ 4. СТАРТАП-ПРОЄКТ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ

### 4.1. Суть та опис проєкту «Тепловізійна система для діагностування тепловтрат споруд ТЕРЛО»

Усі стартапи завжди починаються з ідеї. Для успішної реалізації проєкту необхідно чітко сформулювати ядро ідеї, яку необхідно надалі розвивати. Ідея проєкту, що висвітлюється в даній роботі полягає у розробці тепловізійної системи для діагностування тепловтрат в споруд. Крім цього доцільно зазначити, що розроблений пристрій є універсальним, оскільки може використовуватися як у вирішенні робочих задач, так і у побуті.

Опис ідеї проєкту викладемо у таблицю 4.1.

Таблиця 4.1

#### Опис проєкту «Тепловізійної системи для діагностування тепловтрат споруд ТЕРЛО»

Структурний елемент	Пояснення	Вигода для споживачів
Ідея	Тепловізійної системи для діагностування тепловтрат споруд ТЕРЛО	Тепловізійна система призначена перетворити вимірювання теплового випромінювання різних об'єктів на максимально простий, зрозумілий та ефективний процес для кожного користувача
Сфера застосування	Основний напрямок застосування – енергоаудит, проте пристрій може використовуватися як у виробничих цілях, так і звичайними користувачами у вирішенні повсякденних задач	
Опис унікальних властивостей та характеристик проєкту	Багатофункціональність та наявність мобільного застосування. Пристрій допомагає визначити дефекти конструкцій при утепленні приміщень, помилки в системі опалення, дає змогу виявляти неякісні матеріали, що призводять до тепловтрат тощо. Крім цього пристрій підтримує спеціально розроблений додаток, що дає змогу отримувати звітну інформацію про дослідження, показувати тенденції змін у показниках, а також дає змогу управляти пристроєм дистанційно та налаштовувати його	

Як бачимо з таблиці, особливостями тепловізійної системи є її універсальність та наявність мобільного застосунку, що допомагає в управлінні пристроєм та дає змогу отримувати звіт про дослідження температурного стану того чи іншого об'єкта. Крім цього проєктований пристрій має гарну цінову політику, при цьому не страждає якість та точність вимірювання не поступаються продуктам основних гравців на ринку.

Слідуючим кроком на шляху реалізації проєкту є визначення основних техніко-економічних переваг даної ідеї порівняно з продуктами потенційних конкурентів. У якості основних порівняльних характеристик було обрано ціну, універсальність, наявність застосунку для смартфона, тип живлення та роздільну здатність (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Сильні, слабкі та нейтральні характеристики продукту проєкту  
«Тепловізійна система для діагностування тепловтрат споруд ТЕРЛО»

Техніко-економічні характеристики	Потенційні товари конкурентів				Слабкі сторони	Нейтральні	Сильні сторони
	Власний продукт	FLUS IR-893	Benetech GT3251	Xintest HT-02			
Ціна	3200	6000	9800	7600			+
Універсальність	+	-	+	+		+	
Наявність мобільного додатку	+	-	-	-			+
Акумуляторний тип живлення	+	-	+	-			+
Висока роздільна здатність	+	-	+	-		+	

Аналізуючи дані вищенаведеної таблиці, можна зробити висновок, що продукт нашого проєкту має значні переваги над пристроями конкурентів, особливо це виражається у вартості, наявності застосунку для смартфонів та типу живлення акумулятором. Найбільш приближеним конкурентом є модель тепловізора фірми Benetech GT3251.

Наступний крок – аудит технології для реалізації задумів ідеї та втілення її у життя. Для цього скористаємося формою табл. 4.3.

Технологічна здійсненність проєкту «Тепловізійна система для  
діагностування тепловтрат споруд ТЕРЛО»

Ідея	Технологія для реалізації	Наявність	Доступність
Тепловізійної системи для діагностування тепловтрат споруд ТЕРЛО	Проєктування приладу з використанням частково готових комплектуючих	+	+
	Програмування приладу в програмному середовищі ARDUINO IDE	+	+
	Розробка мобільного додатку у програмному середовищі Unity	+	+

Отже, обрана технологія реалізації ідеї проєкту виступає конструювання приладу шляхом збору комплектуючих та розробка мобільного застосунку в програмному середовищі Unity. В майбутньому можливо доповнення пристрою додатковими функціями, наприклад, встановлення додаткового датчику, що дасть змогу вимірювати показники атмосферного тиску, вологості та температуру навколишнього середовища. Відповідно, розширення функціоналу дасть змогу доповнити і мобільним застосунок, тобто, крім результатів тепловізійного вимірювання в додатку може відображатися і вимірювання метео-показників. Тож, розширення функціоналу дасть змогу посилити конкурентні позиції на ринку серед пропозицій інших виробників.

#### **4.2. Ринкові можливості реалізації проєкту «Тепловізійна система для діагностування тепловтрат споруд ТЕРЛО»**

Ринкове середовище, в умовах якого реалізується задуманий проєкт, вкрай складна та суперечлива. Воно включає в себе як ринкові можливості, так і загрози. Перші визначаються сприятливими чинниками і відкривають нові перспективи для реалізації проєктів. Під ринковими можливостями слід розглядати сприятливі умови, що ми можемо використовувати для реалізації проєкту. Визначення ринкових можливостей та загроз реалізації проєкту дозволяє сформулювати напрям розвитку проєкту з врахуванням середовища

ринку, потреб потенційних споживачів та пропозицій проектів основних конкурентів.

Проведемо аналіз попиту, обсягу та динаміки розвитку ринку (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Характеристика потенційного ринку проекту «Тепловізійна система для діагностування тепловтрат споруд ТЕРЛО»

Показник стану ринку	Характеристика
Кількість основних гравців	3
Загальний обсяг продажів, грн/ум. од.	35 000 000
Динаміка ринку	Зростає
Наявність бар'єрів входу на ринок	Тиск з боку провідних конкурентів
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Патентування та сертифікат якості
Середня норма рентабельності в галузі, %	65%

Отже, підводячи підсумки проведеного аналізу потенційного ринку, ринок є привабливим для входження, оскільки динаміка ринку постійно зростає, а отже, зростає і попит на подібні товари. Основними гравцями на ринку є три провідних виробника електроприладів, а саме FLUS, Venetech та Xintest. Основними бар'єрами для входження на ринок є тиск з боку згаданих компаній. Тиск з боку основних конкурентів можливо зменшити за рахунок наділення продукту проекту унікальних властивостей, що не притаманні продуктам основним виробникам-конкурентам [44].

Наступний крок – визначення потенційних груп споживачів. Сьогодні важко знайти того, хто ніколи не чув про тепловізори. Хоча знайти людей, що хоч раз тримали у руці цей пристрій набереться не багато, оскільки дані пристрої вважаються задоволенням не з дешевих. Цінова поділлка на дані прилади може сягати від кількох тисяч гривень, при цьому прилади будуть наділені мінімальним набором технічних характеристик, до півмільйона гривень за одну одиницю з високим рівнем якості зображення та набором додаткових функцій. Тому, незважаючи на велике різноманіття пристроїв, що представлене на ринку, для більшості потенційних споживачів можливість придбати такий прилад залишається недосяжною.

Характеристика цільової групи споживачів тепловізорів нашого проєкту наведена у табл. 4.5.

Таблиця 4.5

Характеристика потенційних споживачів продукту проєкту

Потреба, формуюча ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних цільових груп споживачів	Вимоги споживачів до товару
Висока точність результатів вимірювання за прийнятною ціною	Інженери, спецробітники та звичайні користувачі	Спеціалісти різного профілю для роботи можуть потребувати більшої дозволу ІЧ-камери	<ul style="list-style-type: none"> <li>- доступність</li> <li>- компактність</li> <li>- точність виміру показників</li> <li>- багато-функціональність</li> <li>- зручність у використанні</li> </ul>

Тож, потенційними споживачами продукту проєкту є інженери та звичайні користувачі, основні вимоги споживачів до пристрою є доступність, компактність та точність вимірювань.

Проведемо аналіз ринкового середовища, визначивши фактори, що сприяють та загрожують реалізації проєкту.

Визначимо основні загрози, що можуть стояти на шляху до успішної реалізації проєкту у табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Загрози реалізації проєкту

Фактор	Зміст	Можлива реакція
Активність великих гравців	Масштабування бізнесу, що дає можливість зменшити ціни на пристрої	Вдосконалення системи, пропозиція унікальних характеристик
Зниження купівельної спроможності	Зменшення попиту на пристрої, перехід на більш дешеву альтернативу	Постійне вдосконалення якісних характеристик допоможе тримати ціну на доступному рівні для споживачів
Збільшення ціни на комплектуючі	Подорожчання пристрою	Перехід до інших постачальників деталей, самостійне виробництво деталей

Як видно з таблиці, основними загрозами виступають бурхлива діяльність основних конкурентів, зниження купівельної спроможності населення та підвищення цін на комплектуючі елементи.

Визначимо основні можливості, які у майбутньому ми можемо використати аби зміцнити свої позиції на ринку (табл. 4.7).

Таблиця 4.7

#### Можливості реалізації проєкту

Фактор	Зміст	Можлива реакція
Розвиток технологій	За допомогою технологій ми зможемо покращити точність приладу, а поява нових споживачів дасть змогу розширити клієнтську базу	Унікальні та якісні властивості продукту допоможуть залучити більше коштів за рахунок продажів, а відповідно ми зможемо розвивати наші технології та залучити більше клієнтів
Нові споживачі		

Розвиваючи свої сильні сторони та використовуючи наявні можливості на ринку можна перекрити загрози та нейтралізувати свої слабкі сторони [45].

Проведемо аналіз загальних основних ознак конкуренції на ринку та представимо дані у таблиці 4.8.

Таблиця 4.8

#### Ступеневий аналіз конкуренції

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється	Вплив на діяльність
1. Тип конкуренції - олігополія	Ринок, що контролює невелика кількість фірм	Значний
2. За рівнем конкурентної боротьби – міжнародний	Представлені моделі зарубіжних компаній	Середній
3. За галузевою ознакою – внутрішньогалузева	У межах однієї галузі	Середній
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Категорія тепловізорів	Середній
5. За характером конкурентних переваг – цінова	Чим менша вартість приладу	Значний
6. За інтенсивністю – марочна	Існує багато відомих брендів різних виробників	Значний

На ринку представлені товарні позиції як вітчизняних, так і зарубіжних виробників. Для того, щоб зайняти нішу в досить насиченому ринку необхідно наділити наш продукт якомога унікальнішими властивостями навідрізню від товарів прогресивних конкурентів.

Проведемо більш детальний аналіз за допомогою моделі п'яти конкурентних сил Портера (табл. 4.9).

Таблиця 4.9

#### Аналіз конкуренції за Майклом Портером

Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-субститути
Benetech, Xintest, Testo	Висока собівартість комплектуючих	Коливання цін на комплектуючі	Мінливість вподобань	Пірометри
Висновки				
Перевага конкурентів – розкрученість бренду	Є можливість виходу на ринок, якщо товар буде мати значні переваги над конкурентами	Диктують ціну на комплектуючі	Диктують умови, клієнти стають вибагливіші, і постійно вимагають покращення властивостей продукту	Не має обмежень, безконтактне вимірювання має більшість переваг

Отже, галузь можна охарактеризувати як привабливу для діяльності та реалізації задуманого проекту.

Конкурентоспроможність будь-якого проекту визначається його факторами конкурентоспроможності, розглянемо їх детально у табл. 4.10.

Таблиця 4.10

#### Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор	Обґрунтування
Компактність	Малогабаритні пристрої можна взяти з собою, вони є більш мобільними
Багатофункціональність	Використання приладів у різних сферах діяльності
Точність вимірювань	Точність виміру показників дає можливість якісно оцінити та проконтролювати процес, отримати точні та правдиві результати
Зручність використання	Пристрої з простим використанням значно спрощують роботу спеціалістів різних профілів, та є зручними для використання у повсякденному житті
Доступність	Співвідношення ціни і якості, отримуєш товар високої якості за прийнятною ціною



Грамотне використання та посилення впливу факторів конкурентоспроможності дасть змогу успішно реалізувати проєкт на сучасному ринку та позмагатися за лідируючі позиції з іншими виробниками [46, 47].

За визначеними факторами конкурентоспроможності визначимо слабкі та сильні сторони проєкту (табл. 4.11).

*Таблиця 4.11*

Порівняння сильних та слабких сторін тепловізійної системи для  
діагностування тепловтрат споруд ТЕРЛО

Фактор	Бали	Рейтинг товарів-конкурентів						
		- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3
Компактність	19					+		
Багатофункціональність	16						+	
Точність вимірювань	14		+					
Зручність використання	15					+		
Доступність	13					+		

Як бачимо з вищенаведеної таблиці наш проєкт має гарні позиції на ринку серед товарів конкурентів, зокрема, прилад є багатофункціональним, ергономічним, доступним за вартістю. Крім цього, необхідно буде попрацювати над точністю вимірювань, можливо у майбутньому використавши більш дорогі комплектуючі, зокрема, датчик прийняття ІЧ- випромінювань.

Враховуючи чинники зовнішнього та внутрішнього середовища, ми можемо визначити сильні та слабкі сторони, можливості та загрози підприємства. Матриця SWOT-аналізу включає з себе сильні сторони, тобто ті характеристики проєкту, що вирізняє його на фоні конкурентів, слабкі сторони – ознаки, що роблять компанію вразливою. Можливості слід використовувати для розвитку проєкту, загрози – ті, чинники, вплив яких може нанести незворотні зміни.

Матриця SWOT-аналізу нашого проєкту наведено у табл. 4.12.

## SWOT-аналіз проєкту

Сильні сторони	Слабкі сторони
1. Компактність 2. Багатофункціональність 3. Зручність використання та візуалізації результатів 4. Ціна	1. Нерозкручений бренд 2. Брак коштів 3. Незначна клієнтська база 4. Точність приладу
Можливості	Загрози
1. Розвиток технологій 2. Нові споживачі	1. Вхід великих гравців 2. Зниження купівельної спроможності

Отже, використовуючи свої можливості та сильні сторони проєкту, ми можемо зменшити негативний вплив зовнішнього середовища, зменшити недоліки у своїй роботі, а також зміцнити свої позиції серед конкурентів.

Відштовхуючись від проведеного SWOT-аналізу проєкту визначимо альтернативи поведінки на ринку (табл. 4.13).

Таблиця 4.13

## Альтернативи впровадження проєкту на ринку

Альтернатива	Можливість отримання ресурсів	Строки реалізації
Додатковий функціонал	85%	6 місяців
Розширення функціоналу та можливостей мобільного додатку	95%	6 місяців

Обрані альтернативи, такі як додатковий функціонал та удосконалення інтерфейсу додатку на смартфон можна впроваджувати паралельно, строки реалізації можуть бути і меншими.

### 4.3. Ринкова стратегія проєкту

Для успішної реалізації, визначення сценаріїв виходу та присутності на ринку доцільно розробити ринкову стратегію реалізації проєкту, тобто стратегію вибору цільових груп.

Для цього визначимо стратегію охоплення ринку та основних цільових споживачів. Цільовими споживачами можуть бути не тільки зацікавлені в товарі особи, але й особи, що мають можливість його придбати.

Наш проєкт направлений на діагностування тепловтрат споруд, тому основними споживачами будуть інженери-конструктори при проектуванні утеплення будівель, аудитори та звичайні користувачі, що прагнуть визначити вузькі місця в утеплені будівлі (у табл. 4.14).

Таблиця 4.14

#### Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних споживачів	Готовність споживачів прийняти товар	Приблизний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції	Простота виходу на ринок
Промисловий персонал, інженери	Готовий	Високий на внутрішньому ринку	Значна	Через високий попит
Індивідуальне використання	Готовий	Середній	Помірна	Через високий попит

Обраними цільовими групами споживачів виступають спеціалісти, що використовують прилади у своїй роботі, до прикладу в енергоаудиті, в у будівництві, на виробництві, крім цього даний пристрій буде мати середній попит і у звичайних споживачів для використання у побуті.

Для подальшої роботи з цільовою групою споживачів визначимо базову стратегію розвитку (табл. 4.15).

Таблиця 4.15

#### Базова стратегія розвитку

Альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Покращення характеристик проєкту шляхом наділення його додатковим функціоналом	Вибірковий розподіл	Багатофункціональність та керування з мобільного застосунку	Стратегія диференціації

Базовою стратегією розвитку було обрано стратегію диференціації, тобто орієнтація проєкту буде надання пристрою унікальних властивостей, щоб охопити якомога більшу кількість споживачів. Такими властивостями у нашому випадку буде надання пристрою додаткових функцій. Тобто, якщо звичайні тепловізори направлені на отримання термограм, то продукт нашого проєкту ще буде визначати метеопказники для комплексного аналізу тепловтрат приміщення. Крім цього, не всі пристрої на ринку можуть похизуватися наявністю додатку, що є додатковою перевагою.

Наступним кроком є визначення базової стратегії конкурентної поведінки. Те, яке місце буде займати проєкт в майбутньому визначає конкурентна поведінка. На початковому етапі реалізації проєкту було обрано стратегію заняття конкурентної ніші.

Детальніше базова стратегія наведена у табл. 4.16.

*Таблиця 4.16*

#### Базова стратегія конкурентної поведінки

Чи є проєкт першопрохідцем на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні, продукт має доповнений функціонал і мобільний застосунок	Буде шукати нових і переманювати існуючих	Ні не буде, увага сконцентрована на унікальності та покращені існуючих властивостей	Стратегія заняття конкурентної ніші

Стратегією конкурентної поведінки було обрано стратегію заняття конкурентної ніші (стратегія нішера), що базується на постійному розвитку своєї конкурентної переваги та формуванні лояльності до продукту.

Відштовхуючись від вимог споживачів до розробника та до продукту проєкту та від обраних базових стратегій розвитку та конкурентної поведінки сформуємо стратегію позиціонування, за якою споживачі зможуть ідентифікувати продукт.

Базова стратегія позиціонування наведена у табл. 4.17.

Таблиця 4.17

Базова стратегія позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проєкту
Висока якість, багатофункціональність	Позиціонування за споживачем	Наявність додатку	Компактність, багатофункціональність, мобільність

Стратегія позиціонування базується на диференціації продукту проєкту на тлі інших виробників, з метою залучення більшої кількості споживачів, формування впізнаваності продукту та його запам'ятовуваності, а також посилені своїх позицій на ринку.

**4.4. Маркетингова програма проєкту «Тепловізійна система для діагностування тепловтрат споруд ТЕРЛО»**

Основою реалізації будь-якого стартап-проєкту є формування маркетингової програми, що містить основні напрямки та позиції, які могли б дозволити успішно працювати на ринку.

Першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, що отримає кінцевий споживач. Ключові переваги продукту над конкурентами дадуть змогу зайняти міцні позиції на ринку та підвищити лояльність споживачів.

Конкурентні переваги тепловізійної системи наведемо у табл. 4.18.

Таблиця 4.18

Ключові переваги концепції потенційного пристрою

Потреба	Вигода товару	Ключові переваги перед конкурентами
Отримати швидкий результат тепловізійного вимірювання	Універсальність	Наявність мобільного додатку та доступність
	Компактність	
	Доступність	
	Достатня точність виміру	

Основною перевагою нашого продукту є наявність мобільного додатку, що дає змогу сформувавши звіт про попередні дослідження. Крім цього, пристрій ергономічний, компактний, більш доступний за ціною, ніж товари конкурентів.

Визначивши основні переваги концепції пристрою побудуємо трирівневу модель продукту, де уточнимо основну ідею та особливості пристрою (табл. 4.19).

Таблиця 4.19

Трі рівні моделі товару

Рівні	Сутність/складові		
I. Товар за задумом	Тепловізійна системи для діагностування тепловтрат споруд ТЕРЛО з мобільним додатком		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості	М / Нм	Вр / Тх / Тл / Е / Ор
	1. Малогабаритність	М	Тх
	2. Доступність	Нм	Вр
	3. Наявність додатку	Нм	Тл
	Якість: пристрій побудований з якісних комплектуючих елементів		
Пакування: крафтова формована коробка			
Марка: ТЕРЛО			
III. Товар із підкріпленням	До продажу потенційні покупці можуть протестувати та ознайомитись з роботою пристрою біля презентаційного стенду		
	Після продажу покупці отримують тепловізор, зарядний пристрій та додаток за посиланням QR-коду		

Тож, 100% захищеності від копіювання проєкту в сучасних реаліях майже не можливо досягти, адже у столітті активного розвитку технологій можна досягти найбільшої наближеності до оригіналу тільки різними методами, щодо нашого проєкту, то особливістю головною є програмне забезпечення та мобільний додаток.

Продовженням формування маркетингової програми є встановлення цінових меж. Мінімальна межа цін становить 3000 грн., тоді як максимальна може доходити до пів мільйона гривень. Оберемо оптимальну цінову межу для нашого приладу, відштовхуючись від подібних моделей на ринку (табл. 4.20).

## Межі встановлення ціни

Рівень цін на товари-субститути	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
3000	9000	15000	3000-10000

Отже, дослідивши цінову політику на подібні продукти на сучасному ринку та купівельну спроможність споживачів, доцільно встановити ціну на пристрій в межах 3000-10000 грн.

Третім етапом маркетингової програми є формування системи збуту. Грамотно побудована система збуту дає можливість реалізувати товар ефективно та використовувати такі канали збуту, що дадуть змогу споживачеві придбати товар як йому буде зручніше.

Система збуту нашого проєкту має наступний вигляд (табл. 4.21).

Таблиця 4.21

## Система збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збут
Модель поведінки цільових клієнтів «Сприйняття – реакція»	Відправлення товару високої якості через поштові послуги або можливість самовивізу	Широка сфера використання приладу	Кур'єрська доставка товару, продаж товарів у магазинах будівельних матеріалів

Тож, планується розробити сайт для представлення та опису всіх можливостей пристрою та формою оформлення замовлення та доставкою пристрою логістичними перевізниками, наприклад, Нова Пошта, крім цього товар можна продавати у спеціалізованих магазинах, наприклад, Епіцентр або Leroy Merlin.

На сайті покупці можуть купити товар, оформити доставку та вибрати спосіб оплати (готівковий, безготівковий). Відправлення товарів буде здійснюватися через Нову Пошту або самовивізом зі складу.

Також пристрій можна буде придбати у великих будівельних магазинах. Планується розмістити пристрій на окремих брендovаних полицях.

Заключним етапом проведемо розробку маркетингових комунікацій. Маркетингова комунікація направлена на інформування, нагадування та стимулювання продажів продукту проєкту цільовій аудиторії.

Система маркетингових комунікацій по нашому проєкту наведена у табл. 4.22.

Таблиця 4.22

#### Маркетингові комунікації

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Лояльне відношення	Сайт, соціальні мережі, презентаційні стенди у магазинах, банери	Переваги товару: компактність, багатофункціональність	Інформованість про продукт	Розширення кола клієнтів

Основними каналами комунікації є офіційний сайт, сторінка у соціальних мережах, презентаційні стенди у магазинах та банери.

Офіційний сайт є гарним джерелом інформування потенційних клієнтів про переваги пристрою та акційні пропозиції. Крім цього, на сайт можна загрузити відео-інструкцію по використанню та наглядно продемонструвати роботу приладу на практиці.

Активним та прогресивним джерелом комунікації у наш час є соціальні мережі. Створення сторінок у Facebook та Instagram – перший крок. Наступним буде наповнення сторінок якісним контентом та просування особливих дописів з використанням реклами.

Презентаційні стенди планується встановити в великих будівельних магазинах з великим потоком відвідувачів. Це допоможе яскраво представити продукт потенційним клієнтам, вони можуть власноруч випробувати пристрій ще до купівлі. Таким чином товар запам'ятається великому колу людей, що у



майбутньому підвищить відсоток ймовірної купівлі саме нашого пристрою, а не продукту конкурента.

Банерну рекламу можна встановити поблизу будівельних магазинів, таким чином посилити пізнаваність продукту та підвищити зацікавленість саме до нашого продукту, ще до відвідин магазину.

Активно буде використовуватися контекстна реклама, що налаштована відображатися у користувачів відповідно до їх пошукових запитів.

Крім цього, сайт та соціальні мережі виступають каналами за якими споживач може реально поспілкуватися з виробниками товарів та отримати відповіді на всі хвилюючі питання.

Використання таких каналів допоможе привернути увагу до нашого пристрою та залучити якомога більшу кількість споживачів.

#### **Висновки до розділу 4**

У даному розділі було детально проаналізовано ідею проєкту «Тепловізійна система для діагностування тепловтрат споруд ТЕРЛО». Продукт проєкту має ряд переваг над продуктами провідних виробників, що виражається у вартості, наявності додатку для смартфонів та типом живлення, крім цього пристрій має досить гарні технічні характеристики.

Також у межах розділу було визначено ринкові можливості реалізації проєкту, його загрози на шляху реалізації, сильні та слабкі сторони. Не дивлячись на посилену конкуренцію на ринку, є всі шанси здобути першість у своїй ніші, так, наприклад, поява нових технологій дасть можливість покращити технічні характеристики, а поява нових споживачів дасть змогу збільшити клієнтську базу.

Крім цього у розділі було сформовано ринкову стратегію реалізації та створено маркетингову програму, що є міцною базою для виходу проєкту не тільки на національний ринок, але й на міжнародний.

Було визначено коло основних споживачів, до них відносяться спеціалісти у сфері енергоаудиту та звичайні користувачі, що прагнуть визначити «болючі» місця тепловтрат у приміщеннях.

Планується реалізувати тепловізійну систему в онлайн режимі, тобто через офіційний сайт, що буде додатково створюватись, через продаж на полицях будівельних маркетів.

Основними каналами комунікації між виробником та споживачем буде корпоративний сайт, сторінки у соціальних мережах Facebook та Instagram, презентаційні стенди та зовнішня банерна реклама.

Загалом ідея проєкту «Тепловізійна система для діагностування тепловтрат споруд ТЕРЛО» є доцільною та має вагомі переваги над конкурентами, зокрема, пристрій компактний, економічно вигідний, якість не поступається ціні, а також робота пристрою підтримується зручним додатком. Додаток дає змогу дистанційно керувати пристроєм, наприклад, якщо пристрій використовується як стаціонарний, тобто статично встановлений аби вимірювати температуру протягом певного проміжку часу, через застосунок можна отримати звітну інформацію досліджень та поділитися з іншими отриманими результатами.

## ВИСНОВКИ

У першому розділі магістерської дисертації було проведено дослідження теоретичних основ тепловізійного вимірювання. У розділі було визначено основні сфери застосування тепловізорів, проаналізовано принцип роботи основних видів тепловізорів та особливості їх побудови, визначено основні аналоги спроектованого пристрою та їх ключові характеристики. Результати дослідження першого розділу стали основою для проектування власного пристрою.

У зміст другого розділу включається побудова функціональної схеми майбутнього пристрою, що стало фундаментом для створення макету та подальшого проектування пристрою. Наступним кроком було моделювання оптичної системи у програмі Zemax, що дало змогу максимально оптимізувати систему лінз для прибору. Крім цього, у розділі висвітлено концепцію мобільного застосунку для смартфонів, що дасть змогу отримувати звіт та ділитися ним з іншими через месенджери, налаштовувати пристрій дистанційно та здійснювати вимірювання.

У третьому розділі було здійснено підбір комплектуючих пристрою, проаналізовано та досліджено їх основні технічні особливості та приведено їх переваги.

У межах четвертого розділу було здійснено розробку стартап-проекту тепловізійної системи, обґрунтовано доцільність ідеї, визначено основні можливості реалізації, розроблено ринкову стратегію виходу та маркетингову програму впровадження продукту проекту.

Результати магістерської дисертації дали змогу побудувати модель тепловізора, здійснити його оптимізацію та відкоригувати роботу, а також розробити застосунок для смартфонів. У ході роботи було отримано достатньо простий, малогабаритний пристрій, при цьому не втративши точність вимірювань. Синергія пристрою та мобільного додатку дає змогу отримати ефективну тепловізійну систему, що буде мати попит як у провідних

спеціалістів різних сфер діяльності, так і у звичайних споживачів у їх буденності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Озогович А. Методи і засоби вимірювання розподілу температури / А., Озович, О. Панчук // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2017. – Том 78. – с. 34-41.
2. Неня О.В. Сучасні тепловізори для спеціального та повсякденного застосування / О.В. Неня // Сучасна спеціальна техніка. – 2016. – № 4. – с. 108-120.
3. Ковчавцев А.П. Тепловизор: лучше один раз увидеть. НАУКА из первых рук. – 5 (47). – 2012. – с.34 - 43.
4. Никитин С. Тепловизоры: не все так просто / С. Никитин // Алгоритм безопасности. – 2011. – № 3.
5. Михеев С.В. Основы инфракрасной техники. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 127 с.
6. Назаренко Л.А. Фізичні основи джерел світла: навч. посіб. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 206 с.
7. Законы теплового излучения [Электронный ресурс] / Теплонадзор. – Режим доступа: <https://teplonadzor.ru/laws/>.
8. Вознюк С. І. Сфери використання, переваги та види тепловізорів [Електронний ресурс] / С. І. Вознюк // Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 13-15 березня 2019 р. – Електрон. текст. дані. – 2019.
9. Кононюк А.Е. Основы фундаментальной теории искусственного интеллекта. – В 20-и кн. Кн.3, ч.4. – К.: Освіта України. 2017. – 480 с.
10. Гусев Г.Г. О выборе оборудования для бесконтактного измерения температуры / Г.Г. Гусев // В мире неразрушающего контроля, 2003. – №2. – С. 19-21.
11. Гаврилов Л.Н. Примечание теехники термовидения / Н.Л. Гаврилов // Актуальные вопросы применения специальных технических средств в

оперативно-разыскной деятельности ОВД: труды X межрегиональной научно-практической конференции. – С.-Пб. – 2004. – С. 183.

12. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. – Москва.: ИД Спектр, 2009. – 544 с.

13. Бажанов С.А. Тепловизионный контроль электрооборудования в эксплуатации (Часть 1) – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2005. – Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик». Вып. 5 (77) - 80 с.

14. Вавилов В.П., Климов А.Г. Тепловизоры и их применение. – М.: Интел Универсал, 2002. – 86 – с. 16.

15. Муравьев А. В. Пассивная термостабилизация оптической системы тепловизора и перспективы его применения в медицинской диагностике / А. В. Муравьев // Приборостроение – 2017: материалы 10-й Международной научно-технической конференции. – Минск, Белоруссия, 2017. – С. 385-387.

16. Мирошников, М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов [Текст] / М.М. Мирошников. – Л.: Машиностроение, 1983. – 696 с.

17. Тымкул, О.В. Аналитическая модель температурно-частотной характеристики тепловизоров [Текст] / О.В. Тымкул, Л.В. Тымкул, В.М. Тымкул // Оптический журнал. – 2002. – Т. 69. – № 10. – С. 73 – 75.

18. Вавилов В.П. Тепловые методы неразрушающего контроля, Справочник.-М.: Машиностроение. 1991.-240 с.

19. Волков В.Г. Тепловизионные приборы нового поколения/ В.Г. Волков, А.В. Ковалев, В.Г. Федчишин//Специальная техника.-2004, - №6.

20. Драгун В.Л. Тепловизионные системы в исследовании тепловых процессов. / М.: Наука, 1967. – 256 с.

21. Муравйов О. В. Компенсація терморозфокусування оптичної системи тепловізора та перспективи його використання в медичній діагностиці / О. В. Муравйов, О. О. Назарчук // Вісник інженерної академії України. – 2017. – вип. №1. – С. 124-131.

22. Криксунов Л.З. Тепловизоры / Киев.: Техника, 1987. – 287 с.

23. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы / М.: Высшая школа, 1981. – 476 с.
24. Тягур В. М. Пассивная оптическая атермализация инфракрасного трехлинзового ахромата / В. М. Тягур, А. В. Муравьев, О. К. Кучеренко // Оптический журнал. – 2014. – том 81. – вып. №4. – С. 42-47.
25. Муравьев А.В. Термостабилизация качества изображения оптической системы термографа / А.В. Муравьев, Е.А. Назарчук // Вісник інженерної академії України. – 2016. – вип. №4. – С. 195-199.
26. Муравьев А. В. Пассивная атермализация оптической системы медицинского термографа / А. В. Муравьев // TRENDS OF MODERN SCIENCE. – vol. 15. – 2018. – pp. 88-91.
27. Кучеренко О. К. Ахроматизація та атермалізація об'єктивів інфрачервоної техніки / О. К. Кучеренко, О. В. Муравйов, В. М. Тягур // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2012. – вип. №5. – С. 114-117.
28. Галаган Р.М. Модель восстановления серии изображений из смазанного изображения для решения задачи высокоточного измерения диаметра и температуры излучающих объектов / Р.М. Галаган, А.В. Муравьев, А.С. Томашук // Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій (матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції), 2019. – С. 169-171.
29. Муравьев А.В. Композиции атермализованных трехкомпонентных инфракрасных объективов / А.В. Муравьев, О.К. Кучеренко // Наука и техника. – 2015. – № 4. – С. 32–37.
30. Tyagur V. M. Passive optical athermalization of an IR three-lens achromat / V. M. Tyagur, O. K. Kucherenko and A. V. Murav'ev // Journal of Optical Technology. – vol. 81 (4). – 2014. – pp. 199-203.
31. Муравьев А. В. Основные тенденции, проблемы и перспективы развития дисплейной наноэлектроники / А. В. Муравьев // Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському союзі:

матеріали 2-гої науково-технічної конференції з міжнародною участю. – Польща, Люблін, 2018. – С. 10-11.

32. Кучеренко О.К. Вплив температури на абераційні властивості ІЧ-об'єктивів / О.К. Кучеренко, О.В. Муравйов, Д.О. Остапенко. // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2013. – № 1. – С. 99-105.

33. Муравьев А. В. Термостабилизация качества изображения инфракрасных диоптрических объективов / А. В. Муравьев // Тези доповіді XVI Міжнародної науково-технічної конференції „Приладобудування: стан і перспективи”. – НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”. – 2017 р. – С. 132.

34. Крат А. В. Термостабилизация диоптрических объективов инфракрасной техники / А. В. Крат, А. В. Муравьев // Новые направления развития приборостроения: материалы 10-й международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, 26-28 апреля. – Минск, Беларусь, 2017. – С. 47.

35. Muraviov, O. V. Passive optical athermalization of objective for medical heat vision / O. V. Muraviov // XVIII Міжнародна науково-технічна конференція "Приладобудування: стан і перспективи", 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна : збірник тез доповідей. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 162.

36. Protasov A. Reconstruction of the thermal field image from measurements in separate points / A. Protasov // 5th IEEE Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium, MRRS 2017; National Aviation University (NAU) Kyiv; Ukraine. – 2017. – С. 89-92.

37. Кучеренко О.К. Методы пассивной атермализации и ахроматизации двухкомпонентных оптических систем / О.К. Кучеренко, А.В. Муравьев // Вісник НТУУ «КПІ», серія Приладобудування. – 2012. – вип. № 43. – С. 46–53.

38. Muraviov O. V. Passive thermostabilization of medical thermography camera optical system / O. V. Muraviov // Тези доповіді XVII Міжнародної



науковотехнічної конференції „Приладобудування: стан і перспективи”. – НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”. – 2018 р. – С. 144.

39. Кучеренко О.К. Влияние температуры на терморасфокусировку фокусирующего узла в инфракрасных системах / О.К. Кучеренко, А.В. Муравьев, В.Н. Куцурук // Вісн. НТУУ “КПІ”. Сер. Приладобуд. – 2010. – Вип. 40. – С. 32–37.

40. Muraviov, O. V. Image quality thermal stabilization of the lenses for medical thermography camera / Muraviov O. V. // XIX Міжнародна науково-технічна конференція «Приладобудування: стан і перспективи», 13-14 травня 2020 р., Київ, Україна : збірник матеріалів конференції. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 105–107.

41. Petryk V. F. SmartphoneBased Automated Non-Destructive Testing Devices / V. F. Petryk, A. G. Protasov, R. M. Galagan, A. V. Muraviov, I. I. Lysenko // Devices and Methods of Measurements. – 2020. – 11(4), PP. 272-278. doi:10.21122/2220-9506-2020-11-4-272-278.

42. Живкович А.В. Современные технологии бесконтактного измерения температуры / А.В. Живкович, А.В. Муравьев // Материалы XVI Международной научно-практической конференции «Динамика научных исследований – 2020», 07-15 июля 2020, Пшемьсль, Польша. – Przemysł : Nauka i studia, 2020. – Vol. 7. – С. 110-115.

43. Живкович А.В. Автоматизация приборов бесконтактного измерения температуры / А.В. Живкович // Динамика современной науки – 2020 : материалы XVI международной научно-практической конференции, 15-22 июля, 2020 г. – София : Бял ГРАД-БГ ОДД, 2020. – Vol. 4. – С. 58-62.

44. Гавриш О.А. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

45. Гавриш О.А. Розробка стартап-проектів: Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальностей 151 –

«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» / О. А. Гавриш, К.О. Бояринова, К.О. Копішинська // КПІ ім. Ігоря Сікорського – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 188 с.

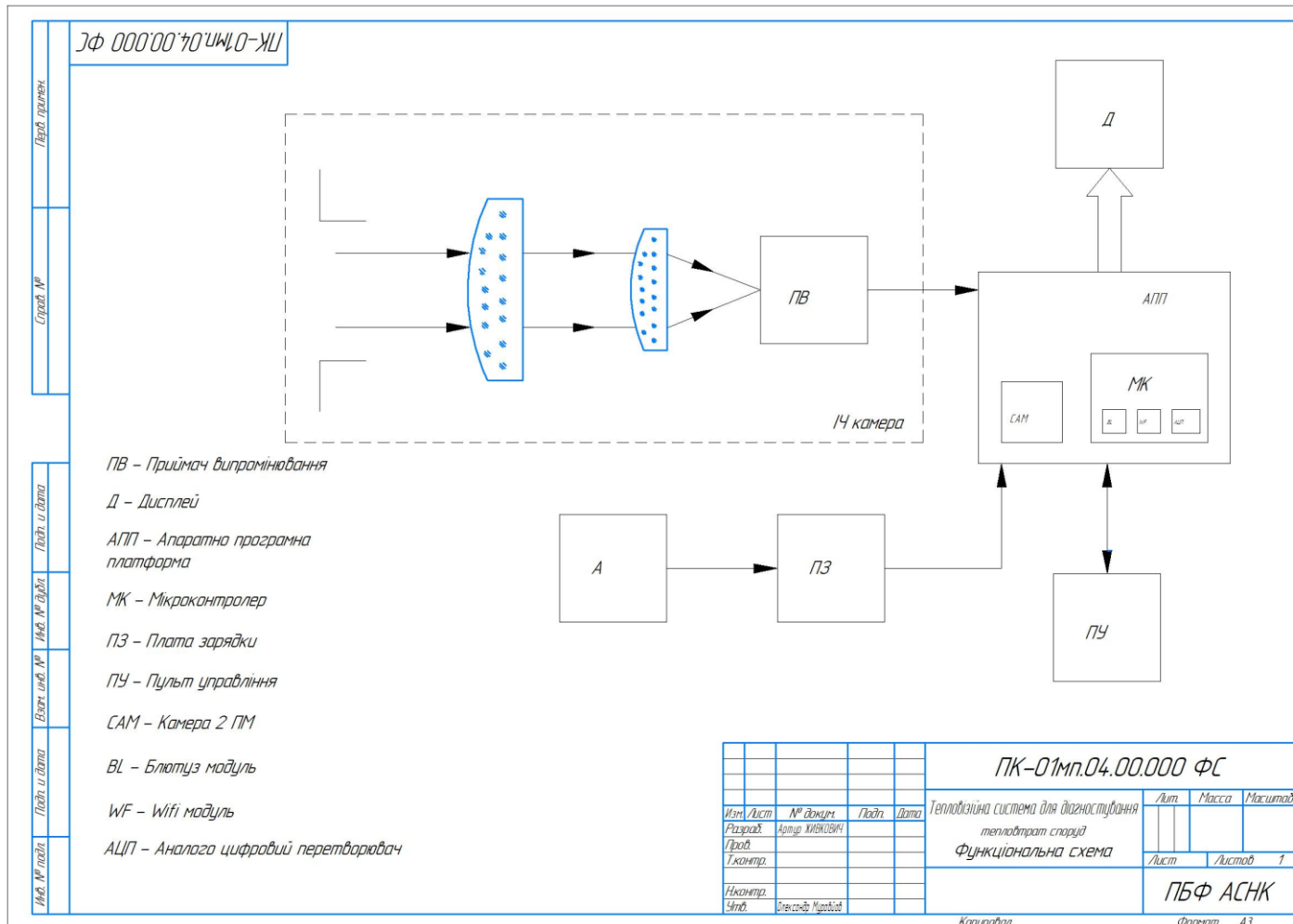
46. Гавриш О.А. Розробка стартап-проектів: практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» / О.А. Гавриш, К.О. Бояринова, К.О. Копішинська // КПІ ім. Ігоря Сікорського – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 116 с.

47. Протасов, А. Г. Технології теплового неруйнівного контролю [Електронний ресурс] : підручник / А. Г. Протасов, Ю. Ю. Лисенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 133 с.

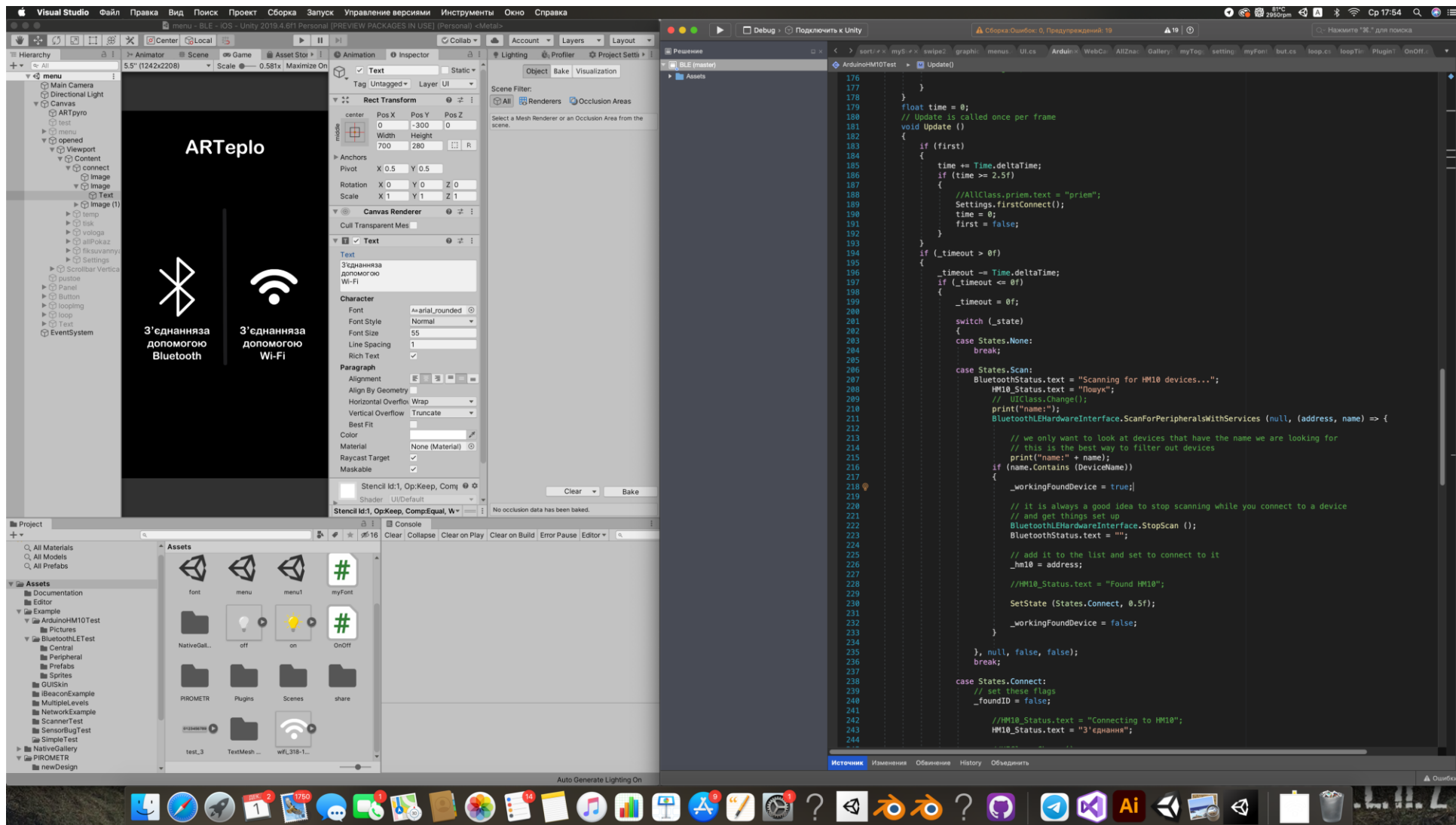
# ДОДАТКИ

Додаток А

## Функціональна схема «Тепловізійна система для діагностування тепловтрат споруд»



## Програмування додатку у програмному середовищі Unity



## Програмування приладу у середовищі Arduino IDE

```

newLCD | Arduino 1.8.13 Hourly Build 2020/06/03 04:12
newLCD
#include <Arduino.h>
#include <Tjpg_Decoder.h>

#include "esp_camera.h"
#define CAMERA_MODEL_AI_THINKER // Has PSRAM

#include <WiFi.h>

// #include "Info.h"

#include "esp_timer.h"
#include "camera_pins.h"
#include "Arduino.h"
#include "fb_gfx.h"
#include "soc/soc.h" //disable brownout problems
#include "soc/rstc_ctrl_reg.h" //disable brownout problems
#include "esp_http_server.h"

#include <TFT_eSPI.h> // Graphics and font library for ST7735 driver chip
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>

TFT_eSPI myGLCD = TFT_eSPI(); // Invoke library, pins defined in User_Setup.h

#define DEFAULT_SPI_CLOCK 32000000

#define DELAY 500

#define TFT_GREY 0x7BEF
#define TFT_W 160
#define TFT_H 128

#include <Adafruit_GFX.h>
TwoWire I2CSensors = TwoWire(0);
#include <Adafruit_MLX90640.h>

Adafruit_MLX90640 mlx;
float frame[32 * 24];

bool canUpdate = false;
unsigned long runTime = 0;

bool camera = true;
bool thermal = true;

int c = 0;

int xPos, yPos; // Abtastposition
int R_colour, G_colour, B_colour; // RGB-Farbwert
int i, j; // Zählvariable
// maximale bzw. minimale gemessene Temperatur
float T_center;
bool GET = false;

//Replace with your network credentials
const char* ssid = "ARThermal";
const char* password = "Pass.WiFi";
#define PART_BOUNDARY "12345678900000000000000987654321"

static const char* _STREAM_CONTENT_TYPE = "multipart/x-mixed-replace;boundary=" PART_BOUNDARY;
static const char* _STREAM_BOUNDARY = "\r\n--" PART_BOUNDARY "\r\n";
static const char* _STREAM_PART = "Content-Type: image/jpeg\r\nContent-Length: %u\r\n\r\n";

httpd_handle_t stream_httpd_ART = NULL;

```

```

newLCD
httpd_handle_t stream_httpd_ART = NULL;

static esp_err_t stream_handler(httpd_req_t *req){
  camera_fb_t * fb = NULL;
  esp_err_t res = ESP_OK;
  size_t _jpg_buf_len = 0;
  uint8_t * _jpg_buf = NULL;
  char * part_buf[64];

  res = httpd_resp_set_type(req, _STREAM_CONTENT_TYPE);
  if(res != ESP_OK){
    return res;
  }

  while(true){
    fb = esp_camera_fb_get();
    if (!fb) {
      Serial.println("Camera capture failed");
      res = ESP_FAIL;
    } else {
      if(fb->width > 400){
        if(fb->format != PIXFORMAT_JPEG){
          bool jpeg_converted = frame2jpg(fb, 80, &_jpg_buf, &_jpg_buf_len);
          esp_camera_fb_return(fb);
          fb = NULL;
          if(!jpeg_converted){
            Serial.println("JPEG compression failed");
            res = ESP_FAIL;
          }
        } else {
          _jpg_buf_len = fb->len;
          _jpg_buf = fb->buf;
        }
      }
    }
    if(res == ESP_OK){
      size_t hlen = sprintf((char *)part_buf, 64, _STREAM_PART, _jpg_buf_len);
      res = httpd_resp_send_chunk(req, (const char *)part_buf, hlen);
    }
    if(res == ESP_OK){
      res = httpd_resp_send_chunk(req, (const char *)_jpg_buf, _jpg_buf_len);
    }
    if(res == ESP_OK){
      res = httpd_resp_send_chunk(req, _STREAM_BOUNDARY, strlen(_STREAM_BOUNDARY));
    }
    if(fb){
      esp_camera_fb_return(fb);
      fb = NULL;
      _jpg_buf = NULL;
    } else if(!_jpg_buf){
      free(_jpg_buf);
      _jpg_buf = NULL;
    }
    if(res != ESP_OK){
      break;
    }
    //Serial.printf("MJPG: %uB\r\n", (uint32_t)_jpg_buf_len);
  }
  return res;
}

void startCameraServer2(){
  httpd_config_t config = HTTPD_DEFAULT_CONFIG();
  config.server_port = 80;

  httpd_uri_t index_uri = {
    .uri = "/",

```

## Продовження додатку В

```
void setup()
{
  // randomSeed(analogRead(A0));
  // Setup the LCD

  WRITE_PERI_REG(RTC_CNTL_BROWN_OUT_REG, 0); //disable brownout detector

  // Serial.begin(115200);

  I2CSensors.begin(0,16,32000000);
  //I2CSensors.begin(0,16,4000000);

  if (! mlx.begin(MLX90640_I2CADDR_DEFAULT, &I2CSensors)) {
    while (1) delay(10);
  }

  mlx.setMode(MLX90640_INTERLEAVED);
  // mlx.setMode(MLX90640_CHESS);

  mlx.setResolution(MLX90640_ADC_18BIT);

  mlx.setRefreshRate(MLX90640_16_HZ);

  mlx.getFrame(frame);

  canUpdate = true;
  frame[767] = -100;

  myGLCD.init();
  myGLCD.setRotation(1);

  myGLCD.fillScreen(0x0000);

  /// Wi-Fi connection
  // WiFi.softAP(ssid, password);
  // while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  //   delay(500);
  //   Serial.print(".");
  // }
  // Serial.println("");
  // Serial.println("WiFi connected");
  //
  // Serial.print("Camera Stream Ready! Go to: http://");
  // Serial.print(WiFi.softAPIP());
  //
  // // Start streaming web server
  // startCameraServer2();

  // init_camera();
  // if(camera){
  //   TjpgDec.setJpgScale(1);
  //   TjpgDec.setCallback(tft_output);
  // }
}

uint16_t getColor2(uint8_t red, uint8_t green, uint8_t blue)
{

```



```
newLCD | Arduino 1.8.13 Hourly Build 2020/06/03 04:12
Провірити
newLCD
if (httpd_start(&stream_httpd_ART, &config) == ESP_OK) {
  httpd_register_uri_handler(stream_httpd_ART, &index_uri);
}

void setup()
{
  // randomSeed(analogRead(A0));
  // Setup the LCD

  WRITE_PERI_REG(RTC_CNTL_BROWN_OUT_REG, 0); //disable brownout detector

  // Serial.begin(115200);

  I2CSensors.begin(0,16,32000000);
  //I2CSensors.begin(0,16,4000000);

  if (! mlx.begin(MLX90640_I2CADDR_DEFAULT, &I2CSensors)) {
    while (1) delay(10);
  }

  mlx.setMode(MLX90640_INTERLEAVED);
  // mlx.setMode(MLX90640_CHESS);

  mlx.setResolution(MLX90640_ADC_18BIT);

  mlx.setRefreshRate(MLX90640_16_HZ);

  mlx.getFrame(frame);

  canUpdate = true;
  frame[767] = -100;

  myGLCD.init();
  myGLCD.setRotation(1);

  myGLCD.fillScreen(0x0000);

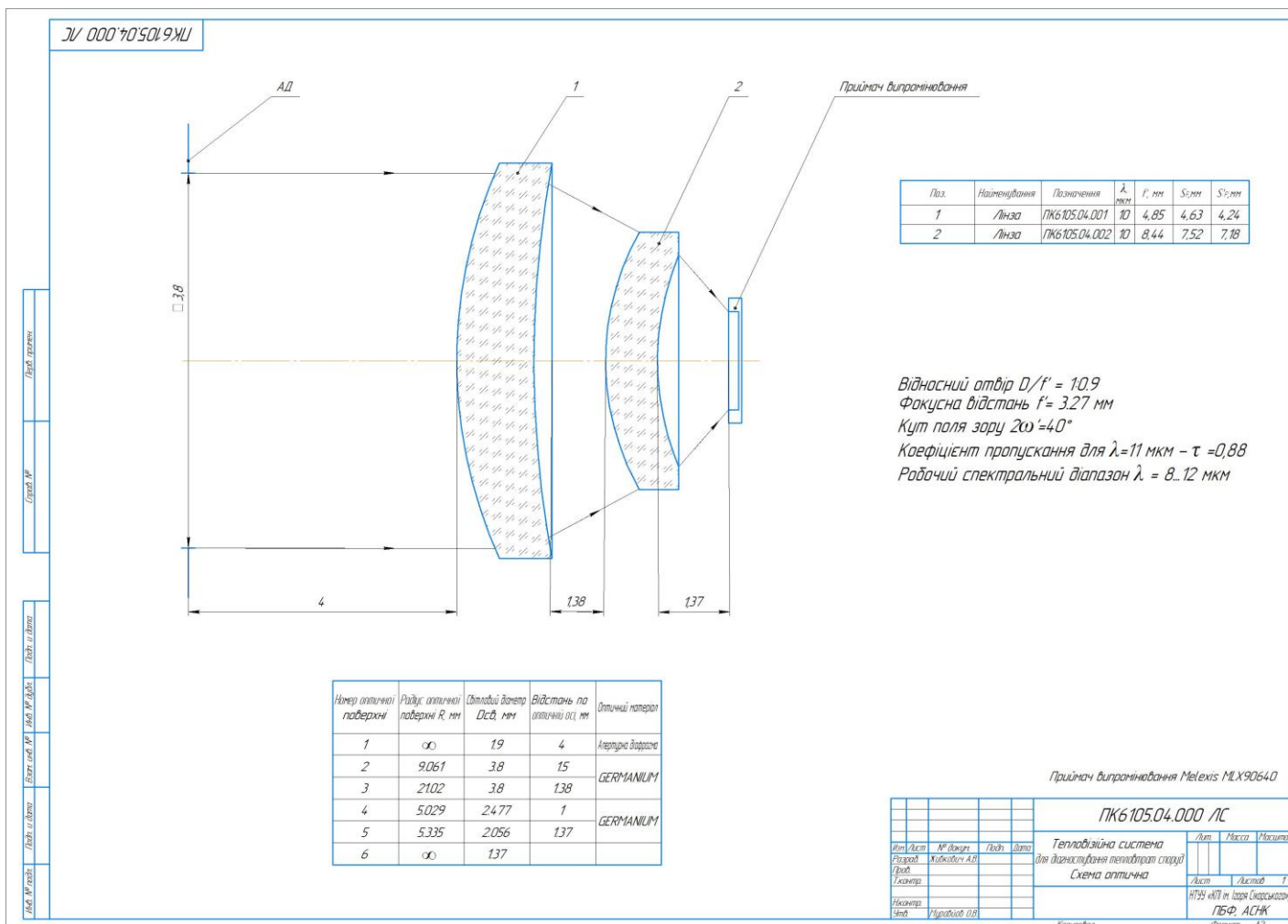
  /// Wi-Fi connection
  // WiFi.softAP(ssid, password);
  // while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  //   delay(500);
  //   Serial.print(".");
  // }
  // Serial.println("");
  // Serial.println("WiFi connected");
  //
  // Serial.print("Camera Stream Ready! Go to: http://");
  // Serial.print(WiFi.softAPIP());
  //
  // // Start streaming web server
  // startCameraServer2();

  // init_camera();
  // if(camera){
  //   TjpgDec.setJpgScale(1);
  //   TjpgDec.setCallback(tft_output);
  // }
}

uint16_t getColor2(uint8_t red, uint8_t green, uint8_t blue)
{

```

Схема оптичної системи «Тепловізійна система для діагностування тепловтрат споруд»



Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Приладобудівний факультет  
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Магістерська дисертація  
на тему:

# **Тепловізійна система для діагностування тепловтрат споруд**

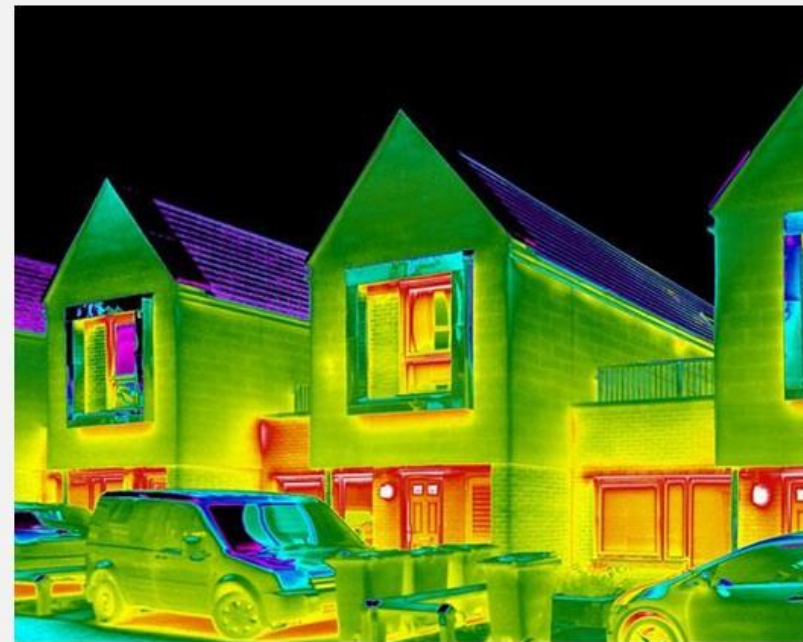
Виконав: студент II курсу, групи ПК – 01мп  
**Живкович Артур**

Науковий керівник: старший викладач, к.т.н.  
**Муравйов Олександр**

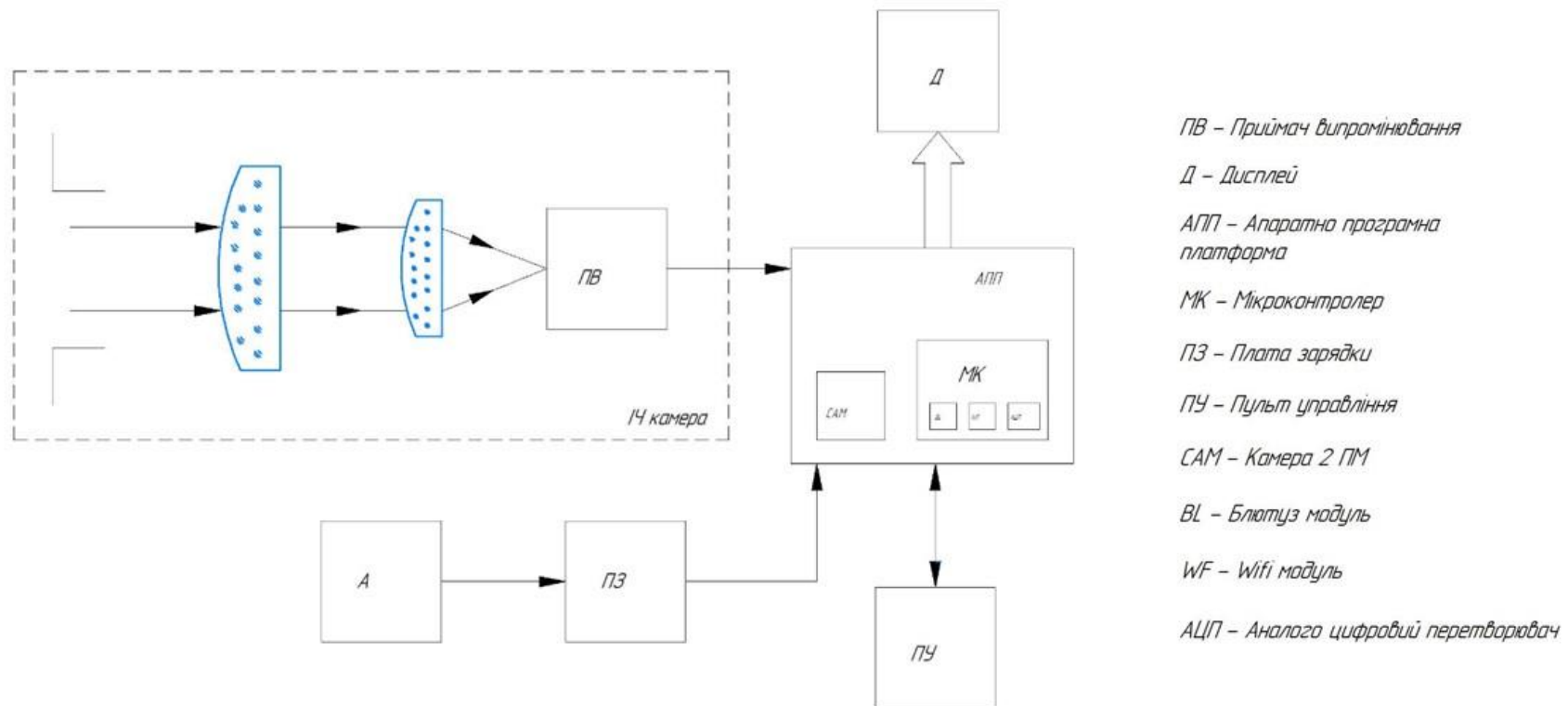


## Мета магістерської дисертації

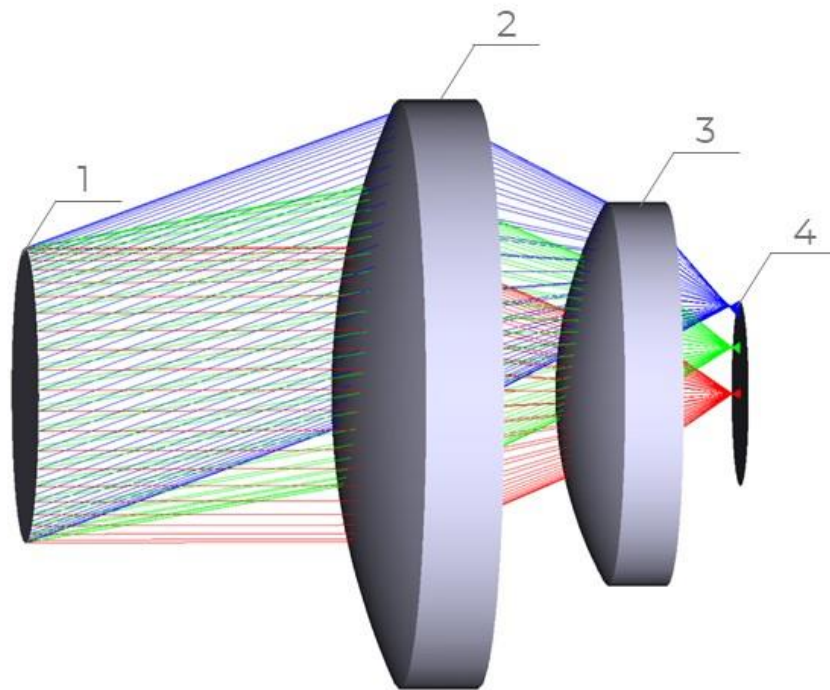
розробка тепловізійної системи з застосунком для смартфона, що може використовуватися як в діагностиці тепловтрат, так і у побуті



## Функціональна схема тепловізійної системи



## Тривимірний модель оптичної системи



- 1 Апертурна діафрагма
- 2 Лінза 1
- 3 Лінза 2
- 4 Датчик

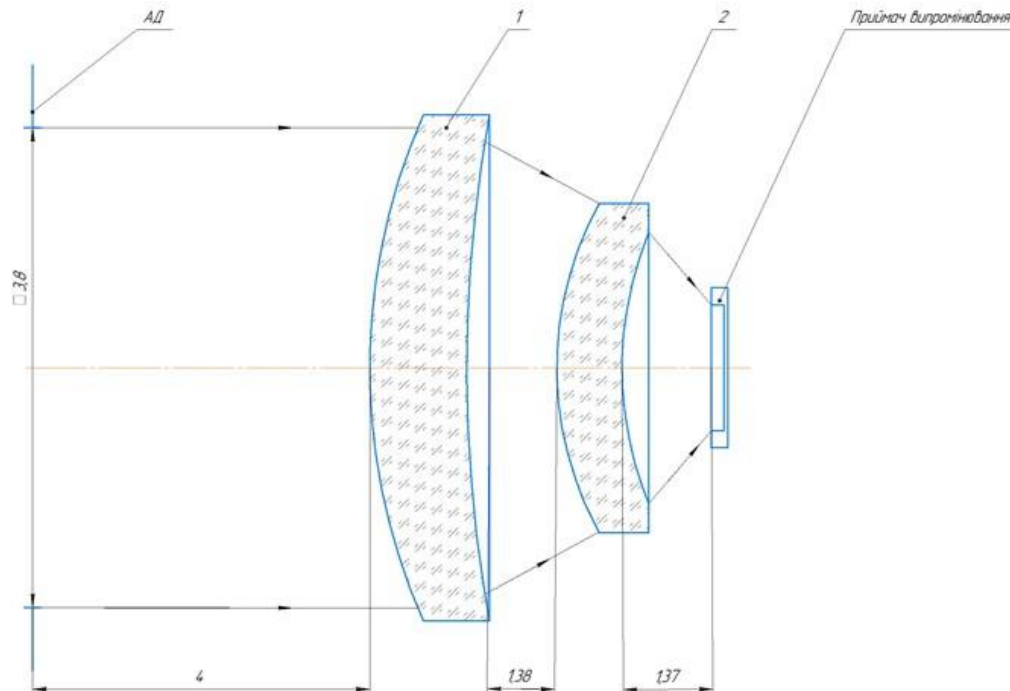
**8 ... 12 мкм**  
спектральний діапазон

**$2\omega = 40^\circ$**   
кут поля зору

**3.27 мм**  
фокусна відстань

**1 : 0.9**  
відносний отвір

## Оптична схема тепловізійної системи



Поз.	Найменування	Позначення	$\lambda$ , мкм	$f$ , мм	$S_1$ , мм	$S_2$ , мм
1	Лінза	ПК6105.04.001	10	4,85	4,63	4,24
2	Лінза	ПК6105.04.002	10	8,44	7,52	7,18

Відносний отвір  $D/f' = 10,9$

Фокусна відстань  $f' = 3,27$  мм

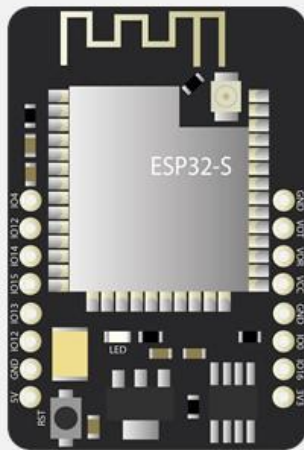
Кут поля зору  $2\omega' = 40^\circ$

Коефіцієнт пропускання для  $\lambda = 11$  мкм  $\tau = 0,88$

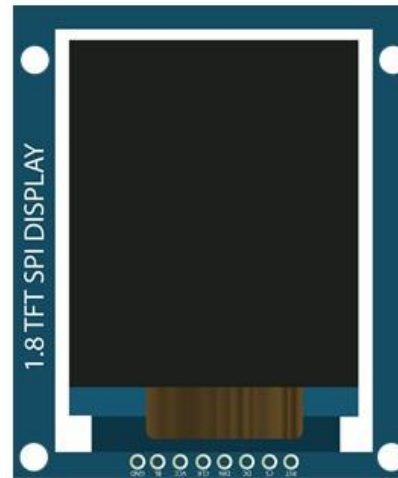
Робочий спектральний діапазон  $\lambda = 8 \dots 12$  мкм

Номер оптичної поверхні	Радіус оптичної поверхні $R$ , мм	Співвідношення діаметр $D_1/D_2$ , мм	Відстань по оптичній осі, мм	Оптичний матеріал
1	$\infty$	19	4	Апертурна діафрагма
2	9061	3,8	15	GERMANIUM
3	2102	3,8	138	
4	5029	2,477	1	GERMANIUM
5	5335	2,056	137	
6	$\infty$	137		

## Комплектуючі тепловізійної системи



**ESP32-CAM**  
апаратно-програмна платформа

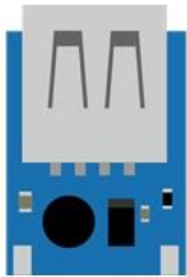


**HY-1.8 SPI TFT v2**  
дисплей



**MLX 90640-D55**  
матрична тепловізійна ІЧ-камера

*Продовження додатку Д*



**HT4928S**  
плата зарядки

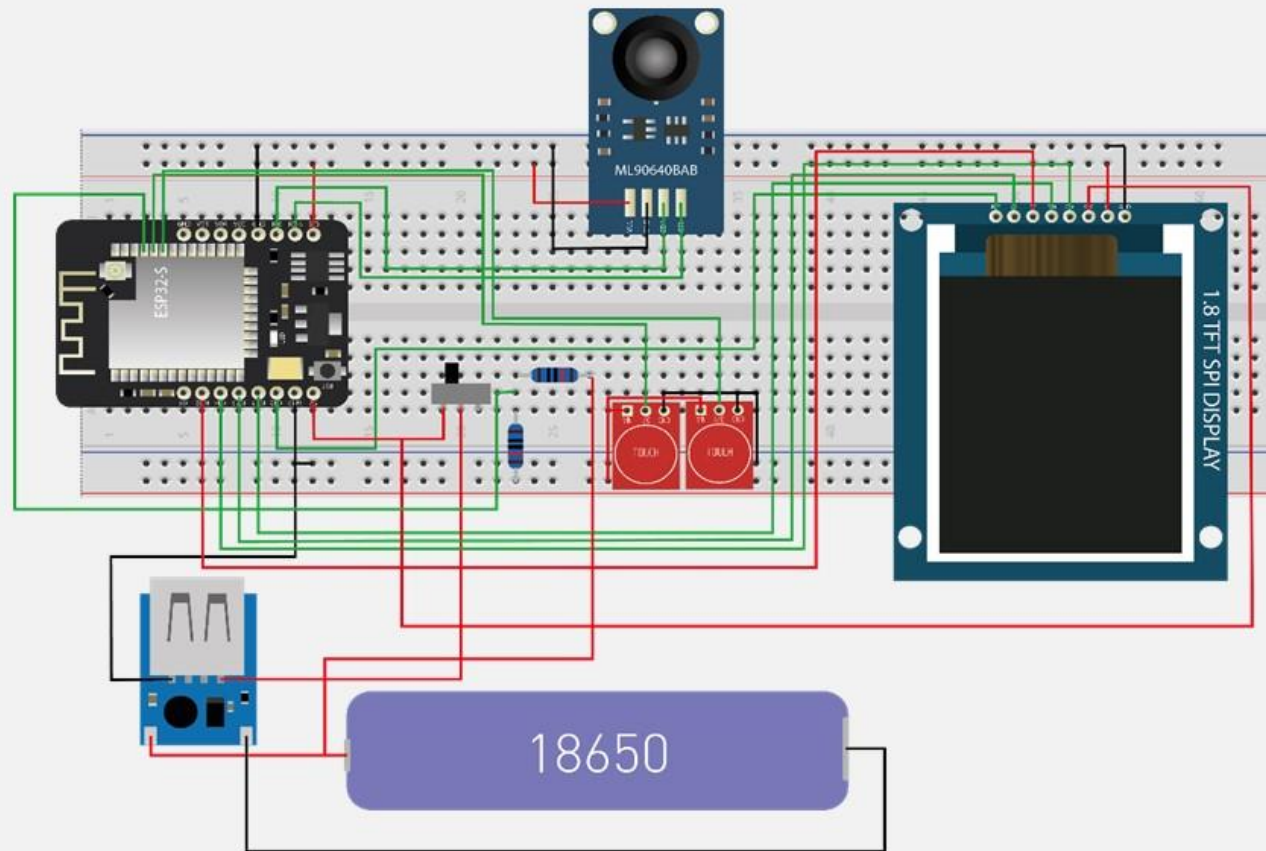


**NCR18650B**  
літій-іонний акумулятор



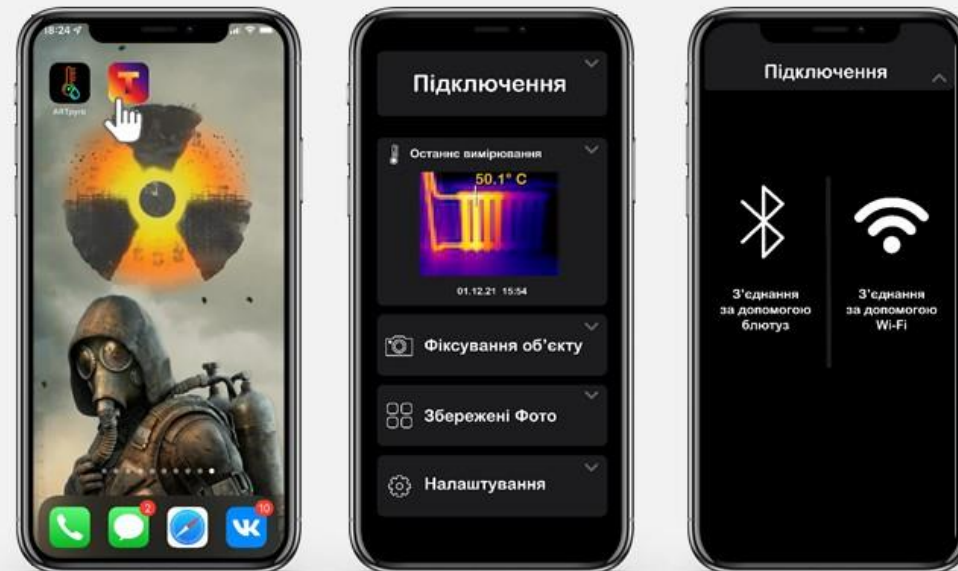
**TTP223 Touch key**  
сенсорний датчик

## Сконструйована макетна плата тепловізора





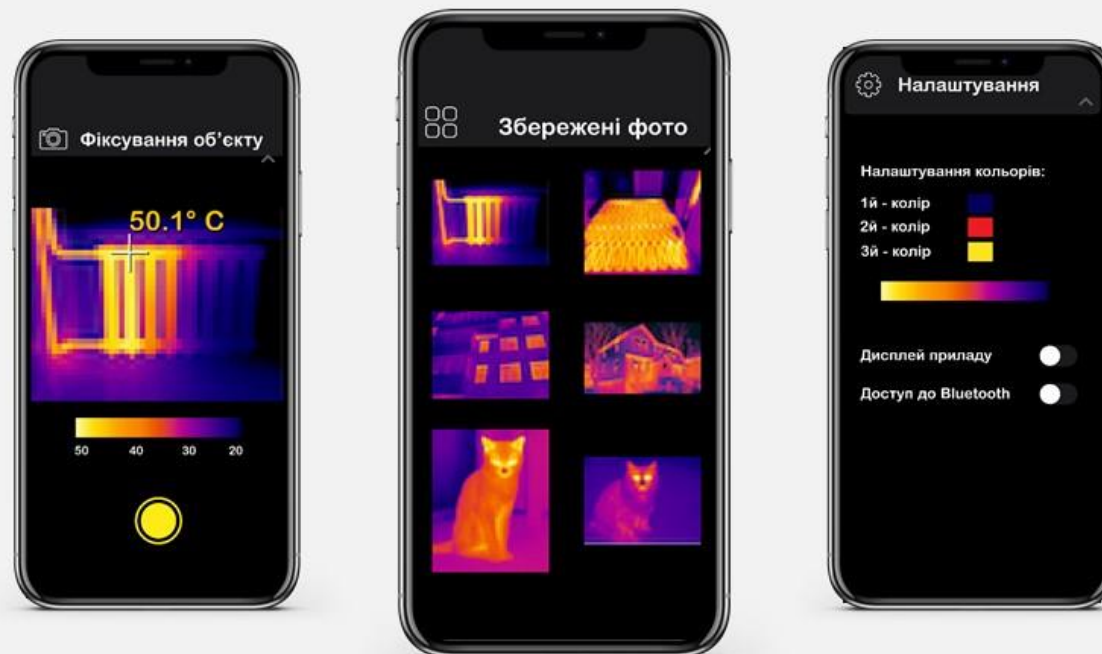
## Інтерфейс мобільного застосунку



Програмне забезпечення мобільного застосунку розроблене у середовищі програмування **Unity** на мові програмування **C#**

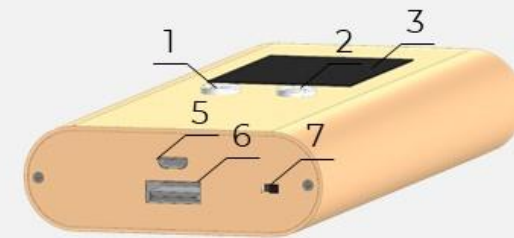


## Інтерфейс мобільного застосунку



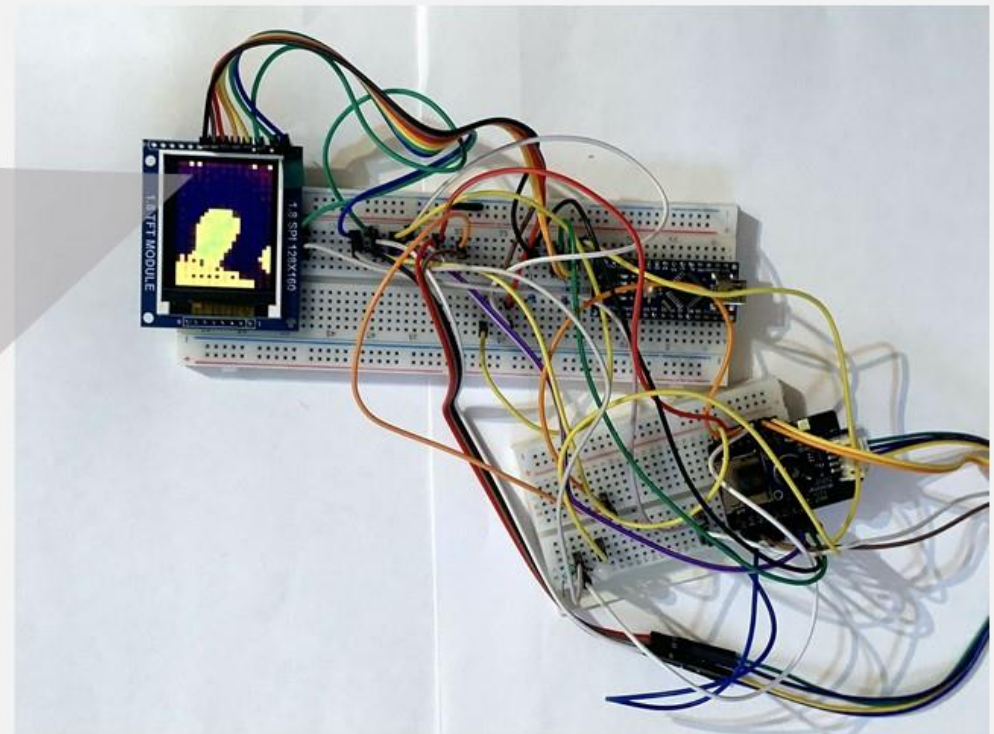
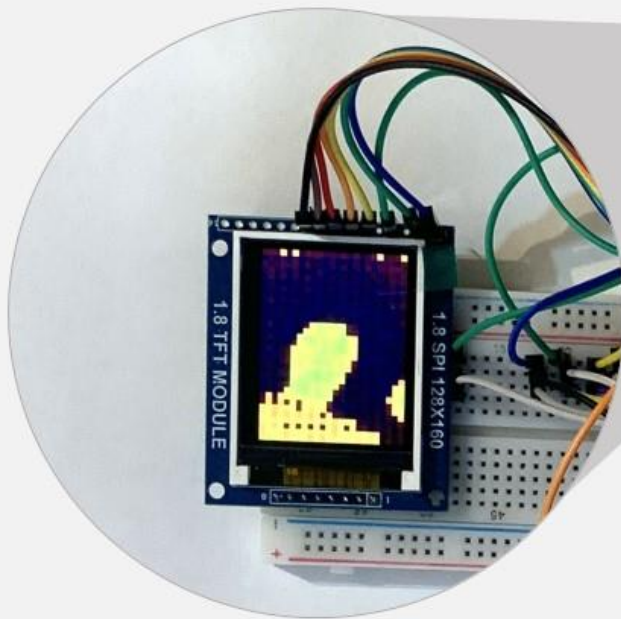
Основні функціональні блоки застосунку:  
«Фіксування об'єкту дослідження», «Збережені фото попередніх вимірювань» та  
«Налаштування пристрою»

### 3-D моделювання конструкції тепловізора у САПР «Компас 3-D»



- 1-2 – сенсорна панель управління
- 3 – дисплей
- 4 – тепловізійна ІЧ-камера
- 5 – micro USB-вхід для зарядки пристрою
- 6 – USB-вхід для зарядки пристрою, що можна використовувати як PowerBank для інших девайсів
- 7 – перемикач On/Off

## Тепловізор в дії



**Дякую за увагу!**

## Список наукових праць

Ф. № 3.3

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ Живковича Артура Владиславовича

№ п/п	Найменування праць	Назва видавництва, журналу (номер, рік) або номер авторського свідоцтва, номер диплома на винахід	Кількість друкованих аркушів або сторінок разом	Прізвища співавторів праць
1	Современные технологии бесконтактного измерения температуры	Материалы XVI Международной научно-практической конференции «Динамика научных исследований – 2020», 2020, Vol. 7. Пшемьсль, Польша	5	Муравйов О.В.
2	Автоматизация приборов бесконтактного измерения температуры	Динамика современной науки – 2020: материалы XVI международной научно-практической конференции, Vol. 4., София	4	-

Автор



Артур ЖИВКОВИЧ

в.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_

Юрій КИРИЧУК