

Хмельницький національний університет
Факультет програмування
та комп'ютерних і телекомунікаційних систем
Кафедра комп'ютерної інженерії та системного програмування

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень


Проектування кіберфізичної системи безконтактного вимірювання температури.
Назва теми


КвРКІ.170152.17.01.20 ПЗ
Шифр

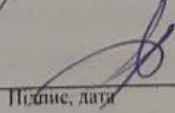
Галузь знань 12 «Інформаційні технології»
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Шифр, назва

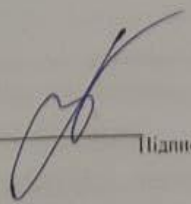
Освітня програма «Комп'ютерна інженерія»
Назва

Виконав: студент IV курсу, група КІ-17-1  Старанчук О.І.
Підпис Ініціали, прізвище

Керівник  Нічепорук А.О.
Підпис, дата Ініціали, прізвище

Нормоконтролер  С.М. Лисенко
Підпис, дата Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри комп'ютерної
Інженерії та системного
Програмування

 Т.О. Говорущенко
Підпис Ініціали, прізвище

24 » червня 2021 р.

Хмельницький 2021

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ПРОГРАМУВАННЯ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ І ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА СИСТЕМОГО ПРОГРАМУВАННЯ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ОСВІТНЯ ПРОГРАМА «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко

“ 11 ” 01 2021 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Старанчуку Остапу Ігоровичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Проектування кіберфізичної системи безконтактного вимірювання температури

Керівник проекту (роботи) Нічепорук А.О., доцент кафедри КІСП

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 05.02.2021 р. № 11

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 07.06.2021 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Теоретичні основи безконтактного вимірювання температури

Проектування пристрою з кіберфізичною системою безконтактного вимірювання температури

Підбір комплектуючих для конструкції пристрою дистанційного вимірювання температури

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Макет мікросхеми проєктованого пристрою

Блок-схема функціонування програмної частини пристрою

Функціональна схема кіберфізичної системи безконтактного вимірювання температури

завдання прий...

Примітка
виконано
виконано
виконано
виконано
виконано
виконано
року

№ рядка	формат	Позначення	Найменування	Кількість	№ екз	Примітка
			Текстові документи			
1		КвРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Пояснювальна записка	64		
			Графічні матеріали			
2		КвРКІ. 170152.17.01.20 Е8	Макет мікросхеми проєктованого пристрою	1		
3		КвРКІ. 170152.17.01.20 Е8	Блок-схема функціонування програмної частини пристрою	1		
4		КвРКІ. 170152.17.01.20 Е2	Функціональна схема кіберфізичної системи безконтактного вимірювання температури	1		

КвРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ				
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата
Розробив		Старанчук		
Перевір.		Нічепорук		
Н. контр.		Лисенко		
Зпв.		Говорушенко		
Відомість проєкту			Літера	Аркуш
			У	1
			ХНУ, КІ-17-1	

Старанчук О.І.
Ініціали, прізвище
Нічепорук А.О.
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Проектування кіберфізичної системи безконтактного вимірювання температури.».

Автор роботи: Старанчук Остап Ігорович.

Керівник роботи: Нічепорук Андрій Олександрович.

Пояснювальна записка: 61 с., 26 рис., 4 табл., 4 дод., 40 джерел.

Графічна частина: 9 презентаційних слайдів.

ПРОЕКТУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ.

Метою роботи є проектування та реалізація кіберфізичної системи безконтактного вимірювання температури.

У цій роботі розроблена система кіберфізична системи безконтактного вимірювання температури. Спроектований підбір найкращих комплектуючих для цього пристрою, їх встановлення та схематичне розташування. Розроблена програмна частина яка виводить замірювання на OLED-дисплей та передає данні на сервіс adafruit. Підібрана апаратно-програмна платформа та усі додаткові елементи для покращення користування приладом.




Підпис студента



Дата

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	4
ВСТУП.....	5
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ.....	6
1.1. Загальна класифікація засобів вимірювання температури, сфери застосування пірометрів та їх переваги над контактними термометрами	6
1.2. Фізичні основи пірометрії.....	9
Рисунок 1.3 – Спектральний розподіл випромінювання при різних температурах.....	12
1.3. Різновиди пірометрів та їх особливості.....	15
1.4. Принцип роботи пірометрів та їх схеми.....	17
1.5. Обґрунтування вибору пірометра радіаційного типу	21
1.6. Характеристика аналогів пристрою безконтактного вимірювання температури	23
Висновки до розділу 1	26
2 ПРОЕКТУВАННЯ ПРИСТРОЮ З КІБЕРФІЗИЧНОЮ СИСТЕМОЮ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ.....	28
2.1. Функціональна схема кіберфізичної системи безконтактного вимірювання температури.....	28
2.2. Необхідність автоматизації процесу вимірювання температури.....	32
2.3. Програмне забезпечення Arduino для кіберфізичної системи безконтактного вимірювання температури та його збереження в сервісі adafruit. 30	
Висновки до розділу 2	34
3 ПІДБІР КОМПЛЕКТУЮЧИХ ДЛЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ.....	38
3.1. Вибір апаратно-програмної платформи.....	38

					КвРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ		
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав	Старанчук О.І.						
Перевір.	Нічепорук А.О.				ХНУ, КІ-17-1		
Н.контр.	Лисенко С.М.						
Затвер.	Говорущенко Т.О.				Проектування кіберфізичної системи безконтактного вимірювання температури. Пояснювальна записка.		

3.4. Вибір додаткових елементів: типу живлення, лазерного вказівника, та датчика керування.....	44
3.5. Вибір програмного забезпечення Arduino та його встановлення.	47
3.6. Огляд функціоналу та принципу користування приладу безконтактного вимірювання температури.....	48
Висновки до розділу 3	50
ВИСНОВКИ.....	52
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	53
Додаток А Копія креслення «Макет мікросхеми проектованого пристрою»	57
Додаток Б Копія креслення«Блок-схема функціонування програмної частини пристрою»	58
Додаток В Копія креслення «Функціональна схема кіберфізичної системи безконтактного»	59
Додаток Г «Код програмної частини пристрою»	60

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

МК – мікроконтролер;

ПАП – програмно-апаратна платформа;

ВВ – black body;

OLED – organic light-emitting diode;

CMOS – complementary metal-oxide-semiconductor;

RISC – reduced instruction set computer;

SRAM – static random access memory;

EEPROM – electrically erasable programmable read-only memory;

ШИМ – широтно-імпульсна модуляція;

ПО – програмне забезпечення.

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Зараз основна маса технологічних процесів на виробництві вимагають проведення температурного контролю. Характеристики температури мають величезне значення, тому що незначна аномалія від поставленої норми протікання будь-якого процесу або ж стабільного стану системи має можливість приводити до непотрібних або, ж в тому числі і катастрофічних результатів.

Контактне вимірювання температури вважається не всякий раз дієвим і доцільним, тому що контактні прилади не пристосовані для вимірювання температури рухомих, недоступних об'єктів або ж тих, що розташовані в небезпечних ділянках. У більшості випадків такі засоби асоціюються саме з пірометрами. Проте, їх популярність обумовлена не лише необхідністю використання у промисловості та різних сферах науки, дані прилади активно використовуються і у побуті, завдяки своїй багатофункціональності, зручності та компактними розмірах.

Мета дипломної роботи стоїть в розробці девайсу безконтактного вимірювання температури. Актуальність цієї теми роботи та її мета розкривають попит на виконання наступних завдань:

- 1) аналіз теоретичні основи безконтактного вимірювання температури;
- 2) проєктування макету приладу безконтактного вимірювання температури;
- 3) підбір комплектуючих для девайсу безконтактного вимірювання температури;

Структура та обсяг всієї роботи. Структурними одиницями роботи є вступ, три розділи, висновки, список джерел та додатки. Зміст даної роботи викладно на 64 сторінках. Дана робота вміщує 4 таблиці, 32 рисунка та 3 графічних креслення. Список використаних джерел складає 40 посилань.

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		5

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

1.1. Класифікація приладів вимірювання температури, сфери застосування засобів та їх переваги.

Як вже раніше зазначалося у цій роботі, температурний контроль має вагомe значення у різних сферах та ділянках промислового виробництва. Так як сам температурний контроль здійснюють за допомогою усіляких термометрів, в залежності від способу вимірювання температури дані прилади поділяють на два класи – контактні і безконтактні термометри. Всю класифікацію засобів вимірювання температури приведено на рисунку 1.1.

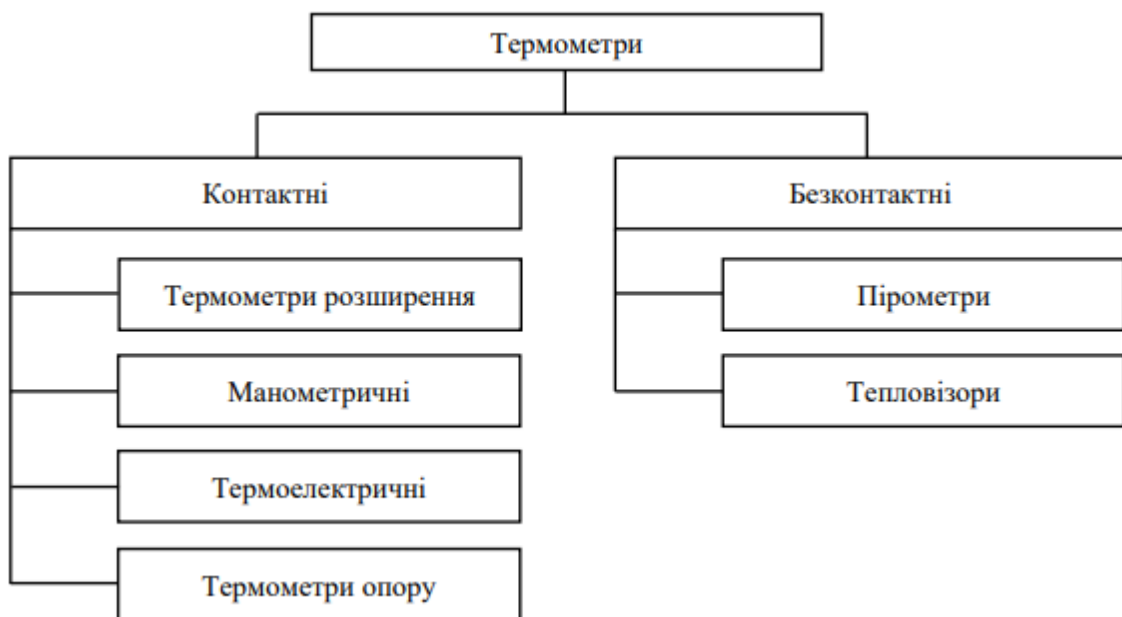


Рисунок 1.1 – Класифікація різних засобів вимірювання температури

Під контактними термометрами слід розглядати ті, які передбачають здійснення контакту вимірювання між датчиком пристрою та об'єктом, температура якого потребує її визначення. До класу таких термометрів відносять:

1) термометри розширення, дія яких базується на залежності об'ємного розширення рідин та загальних розмірів від температури твердих тіл;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ

Арк.

6

2) манометричні термометри. Робота таких засобів вимірювання температури визначається у зміні тиску термометричної речовини в залежності від її температури;

3) термоелектричні термометри, принцип використання яких полягає в залежності термоелектрорушійної сили від температури вимірювання;

4) термометри опору. Принцип дії таких устаткувань заснований на залежності температури від електричного опору вимірюваного елементу (провідника чи напівпровідника) [2].

Особливістю усіх безконтактних пристроїв є здатність вимірювання температури без теплового контакту між об'єктом та пристроєм, адже для вимірювання температури достатньо лише оптичного або теплового випромінювання досліджуваного тіла. До таких пристроїв вимірювання температури відносять тепловізори та пірометри. Робота тепловізорів передбачає радіометричне визначення температури на просторовому розширенні та подальшим перетворенням температурного поля в так зване зображення з колірним контрастом всередині. Даний пристрій має змогу вимірювати градієнти різних показників температур, температуру замкнутих об'єктів та їх середовища, для прикладу температуру рідин в будь-яких резервуарах [3].

Термометри, принцип функціонування яких базується тепловому випромінюванні мають назву пірометри. Діапазон температури вимірювання буває різний починаючи з -60°C до 3100°C . Пірометр дає змогу моментально вимірювати температуру дистанційно, як з досить близької, так і з великої відстані від 7 см до 45 м. Щоб визначити температуру тіла, пристрій необхідно направити на нього. Після чого натиснувши на кнопку вимірювання та швидко отримати результат бажаного значення температури поверхні досліджуваного об'єкту.

Пірометри можна використовувати не лише для вимірювання значення температури об'єктів на великій відстані, але й для важкодоступних або зовсім віддалених об'єктів. Прилади можуть допомогти з легкістю розбирати тіла з низькою теплопровідністю, стаціонарні і рухливі складові, а також тіл під напругою, в разі неможливості визначення температури контактними способами.

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Дані приладу можуть бути застосовані для визначення температури площин практично кожних об'єктів. Пірометри можуть допомогти вчасно тримати під контролем і корегувати зміни температури як в повсякденному житті, так і на виробництві. В повсякденному житті користь для вимірювання температури об'єктів, предметів, їжі і т.п. На виробництві їх користь слугує в якості теплолокаторів для визначення критичних температур. Зараз дані прилади користуються в наведених випадках:

1) у тепловій енергетиці прилад використовують для оперативного та точного контролю температур на ділянках, де використання інших видів вимірювання є недоцільним;

2) у сфері електроенергетики пристрій використовують для контролю температур для забезпечення пожежної безпеки, будь-якого для аналізу стану трансформаторів, ліній електропередач та радіаторів.

3) у металургійній та машинобудівній промисловості використовують в аналізі металургійних процесів, а саме процесів пресування, кування тощо;

4) прилади використовують в вимірюванні теплового контролю букс залізничного рухомого складу;

5) при будівництві пірометри використовують для фіксування теплових втрат у промислових будівлях, на теплотрасах, іноді також з метою ефективного пошуку недопацювань теплоізоляційної оболонки стін тощо. Незамінний у пошуку дефектів, вразливостей або невідповідності вимог об'єкта будівництва;

6) у проведенні лабораторних досліджень різних активних речовин у агресивному середовищі;

7) під час контролю та моніторингу схем вентиляції, опалення та кондиціонування;

8) миттєве визначення температури рухомих тіл;

9) профілактика обладнання у різних галузях промисловості та повсякденному житті.

З часом пірометричному вимірювачу знаходять більше і більше можливостей застосування в різноманітних галузях виробництва, промисловості та у лабораторних дослідженнях, оскільки їх використання є не тільки більш

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
						8
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

раціональним, на відміну від контактних вимірювачів температур, але й у випадках єдиним можливим варіантом отримання результату значення температури. Тому розглянемо декілька переваг пірометрів над контактними приладами вимірювання:

- 1) надають можливість вимірювати температуру тіл, що знаходяться на великій відстані;
- 2) не змінюють температурне поле об'єкта, загальна температура якого підлягає визначенню;
- 3) мають найбільшу верхню межу вимірювання показника температури;
- 4) мають можливість визначати температуру газових потоків, які рухаються на з великою швидкістю;
- 5) використовуються у випадках, коли визначення температури контактним термометром не неможливе або не є раціональним [4].

Очевидно, що вимірювання температури новітніми пірометрами має значну кількість переваг над звичайними термометрами. Так пірометри надають можливість знаходження температури без зупинки технологічного процесу, захоплення температури стає можливим на безпечній відстані, при цьому використання таких пристроїв має можливість збільшити продуктивність роботи працівників завдяки швидкісному виміру показника температури.

1.2. Фізичні основи пірометрії

Говорити про температуру нагрітого об'єкта можна на основі вимірювання параметрів теплового випромінювання, яке є саме електромагнітними хвилями різноманітної довжини. Чим більше такої енергії, яку випромінює досліджуваний предмет, тим вища його температура. Нагріті фізичні тіла випромінюють теплові промені, що при температурах у невеликому діапазоні 400-600°C стають видимі людині, можна зазначити, що при цьому яскравість світіння розігрітого об'єкта швидко посилюється при підвищенні температури.

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		9

Розжарені тверді тіла випромінюють суцільний спектр випромінювання, що складається з різних по довжині електромагнітних хвиль. Наглядний електромагнітний спектр зображено на рисунку 1.2.

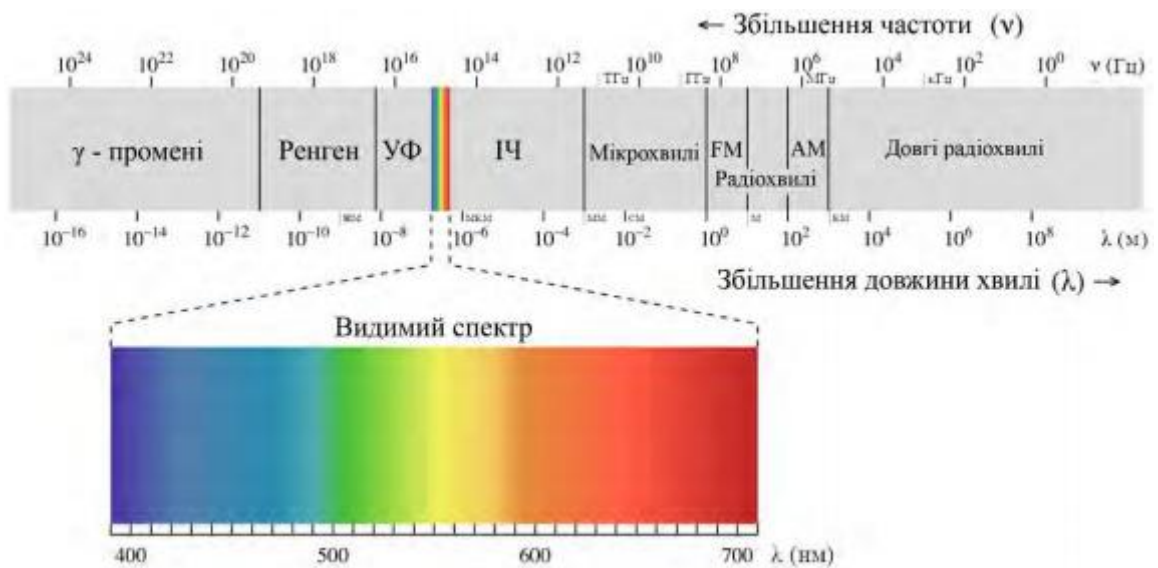


Рисунок 1.2 – Електромагнітний спектр випромінювання променів

Електромагнітне випромінювання нагрітого об'єкта видиме людським оком становить досить вузький діапазон спектра шириною всього 0,35 мкм довжиною хвиль починаючи з 0,40 до 0,70 мкм. Невидимі промені довжиною хвилі менше 0,40 мкм належать до ультрафіолетової ділянки випромінювання. А промені з довжиною хвилі, які охоплюють діапазон від 0,70 мкм до 400 мкм вважаються інфрачервоною ділянкою спектра випромінювання, після зазначеного діапазону слідує ділянка радіохвиль. У галузі температурного вимірювання мають використання діапазони видимі людському оку та інфрачервоного випромінювання.

Галузь дистанційного вимірювання температури об'єктів за їх тепловим випромінюванням в певній частині спектру має назву пірометрія. Контроль температури нагрітих об'єктів за його тепловим показником відштовхується від закономірностей, отриманих для black body. Під абсолютним чорним тілом (ВВ) слід розуміти тіло, що здатне поглинути все випромінювання будь-якої довжини, яке падає на нього при довільній температурі. Коефіцієнт поглинання $\alpha(\lambda, T) = 1$.

Приведені закони є базовими поняттями безконтактного вимірювання температури за допомогою пірометра. Закон Кірхгофа є одним з найголовніших законів теплового випромінювання і не може розповсюджуватись на інші типи випромінювання. Сутність закону лежить у відношенні випромінюваних об'єктів (E) до здатності поглинання (A), що є однаковою для всіх тіл вимірювання при наведеній температурі (T) і не залежить від форми предмету вимірювання, його хімічних складових та так далі:

$$E(\lambda, T) / A(\lambda, T) = e(\lambda, T) \quad (1.1)$$

Тобто, що більше енергії поглинається предметом при відповідній температурі (T) і певній довжині хвилі (λ), тим більше приведене тіло випромінює при таких же значеннях температури та величини хвилі. Відповідно, поверхні з високим ступенем випромінювання (чорноти) чудово вбирають в себе випромінювання й самі є певними випромінювачами. Те ж саме не можна сказати про блискучі поверхності, адже вони не дуже добре поглинають падаюче випромінювання і користуються низьким коефіцієнтом поглинання. Коефіцієнт поглинання реальних тіл менше 1, що означає меншу випромінювальну здатність в порівнянні з абсолютно чорним тілом [5].

Об'єкти, що мають поглинальну здатність таку ж як для всіх довжин хвиль, називаються «сірими тілами». Спектр таких тіла має такий же вигляд, як і у ВВ. У загальному ж випадку поглинальна здатність об'єктів залежить від довжини і температури хвилі, і їх спектр може значно відрізнятись від спектру ВВ.

У 1900 р. Макс Планк на основі гіпотези про квантове випромінювання винайшов спосіб функції $f(\lambda, T)$, що в точності та відповідності підражала експериментальним даним. Відповідно, аналітичний вираз для такої випромінюваної здатності ВВ має даний вигляд:

$$f(\lambda, T) = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{\left[\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1 \right]} \quad (1.2)$$

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

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

λ – довжина хвилі.

T – абсолютна температура тіла;

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

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

Поділ енергії у спектрі випромінювання ВВ для різних температур показує, що для приведених температур найбільші значення кривих припадають на певну ділянку інфрачервоного випромінювання. Заштрихований відрізок відповідає діапазону від 0,5 до 0,85 мкм та ілюструє ту частину випромінюваної енергії за вказаною температурою, що відповідає видимій ділянці спектру [6]. Рисунок 1.3 показує залежність функції $f(\lambda, T)$ та довжини хвилі при варіативній температурі. Дана функція має чітко виражений максимум, розташування якого залежить від температури. Так за збільшення показника температури показник цієї функції зростає по всьому спектру, а її максимум змінює розташування у бік коротких хвиль [7-8].

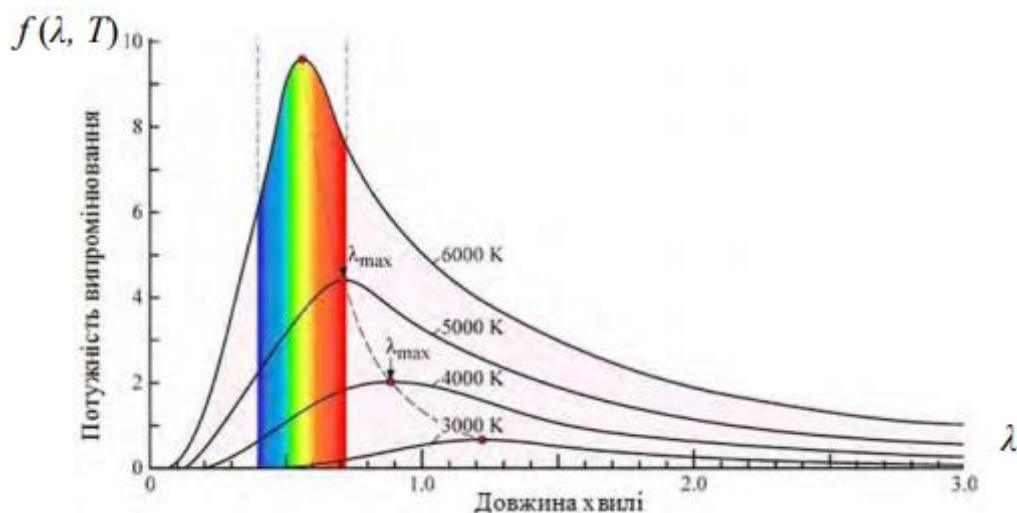


Рисунок 1.3 – Спектральний розподіл випромінювання різних температур

Феноменальний тандем Стефана та Больцмана, використовуючи термодинамічний метод, зумів довести що випромінювальна здатність (q) АЧТ пропорційна четвертому ступіню його абсолютної температури (T):

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		12

$$q = \sigma \cdot T^4 \quad (1.3)$$

де $\sigma = 5,47 \cdot 10^{-8} \text{ (Вт/м}^2 \text{)} / 4$ – стала Стефана-Больцмана.

З закону Стефана-Больцмана ми можемо стверджувати, що всі оточуючі нас тіла випускають випромінювання, тому завжди мають температуру вище абсолютного нуля, що складає $-273 \text{ }^\circ\text{C}$. Якщо підвищити абсолютну температури вдвічі, потужність випромінювання збільшиться у шістнадцять разів.

Для переходу до сірих тіл потрібно помножити результат та коефіцієнт випромінювання тіла, що завжди менше 1. Важливо відзначити те, що закон стверджує тільки про загальну енергію, яка випромінюється.

Важливі показники в термодинаміці випромінювання було отримано німецьким фізиком Вільгельмом Віном. Саме він вперше вивів закон, який визначає положення максимуму в розподілові енергії, що є в спектрі випромінювання АЧТ. Закон демонструє, як чітко зміщується максимум розподілу енергії у спектрі та випромінюванні абсолютно чорного тіла при змінюванні температури [9-10].

Сутність закону зміщення Віна: а саме довжина хвилі ($\lambda_{\text{макс}}$), на яку припадає певний максимум енергії у спектрі рівноважного випромінювання, перетворено пропорційна абсолютній температурі (Т) АЧТ:

$$\lambda_{\text{макс}} = b/T \quad (1.4)$$

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

Це означає, що саме закони Планка і Віна дають поняття, чому речовина при нагріванні починає світитися у розглянутому діапазоні. Як видно з формул, при збільшенні температури об'єкта, все більше випромінювання проектується з короткими довжинами хвиль. Беручи початок з температури близько 600°C його вже можна спостерігати неозброєним людським оком. При цьому, за зниження температури розігрітих тіл в їх спектрі все сильніше домінує довгохвильове випромінювання (саме, перехід білого розжарення у червоне).

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
						13
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

В цій галузі в залежності від використання закону теплового випромінювання за вимірювання температури нагрітого тіла, фокусуються на трьох видах температур, а саме: колірну, яскравісну, та радіаційну.

Яскравісною температурою $T_{\text{я}}$ об'єкта при довжині хвилі λ називають температуру, за якою спектральні енергетичні яскравості АЧТ та реального тіла при дійсній температурі T_{∂} однакові між собою. Їх залежності виражаються наступним чином:

$$T_{\partial} = \left(\frac{1}{T_{\text{я}}} - \frac{\lambda}{C} \ln \frac{1}{\varepsilon_{\lambda}} \right)^{-1} \quad (1.5)$$

де C – стала Віна;

λ – довжина хвилі випромінювання;

ε_{λ} – ступінь чорноти тіла для даної довжини хвилі.

Так як $0 < \varepsilon_{\lambda} < 1$, то яскравісна температура усіх фізичних тіл буде завжди меншою від їх дійсної [11].

Колірна температура $T_{\text{к}}$ є температурою, за якої відношення енергетичних яскравостей у двох довжинах різних хвиль λ_1 та λ_2 рівне відношенню енергетичних яскравостей того ж реального тіла з температурою T_{∂} при таких же довжинах хвиль. Відношення дійсної температури тіла та колірної виражається:

$$T_{\partial} = \left(\frac{1}{T_{\text{к}}} - \frac{\ln(\varepsilon_{\lambda_1}/\varepsilon_{\lambda_2})}{C(1/\lambda_2 - 1/\lambda_1)} \right)^{-1} \quad (1.6)$$

де C – стала Віна;

$\varepsilon_{\lambda_1}, \varepsilon_{\lambda_2}$ – ступінь чорноти тіла для довжин хвиль λ_1, λ_2 .

Доцільно сказати, що для сірих тіл, у яких число коефіцієнта випромінювання у поточній ділянці спектру не змінюється разом з довжиною хвилі, а саме $\varepsilon_{\lambda_1} = \varepsilon_{\lambda_2}$, колірна температура дорівнює дійсній. Дана закономірність доводить перевагу колірного методу над радіаційним та яскравісним, так як приведені температури будуть постійно нижчими за дійсну.

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		14

Проте, для більшості металів, у яких коефіцієнт випромінювання зменшується при збільшенні довжини хвилі, $\epsilon\lambda_2 < \epsilon\lambda_1$, колірна температура завжди більше дійсної [12].

А для неметалічних тіл, у яких коефіцієнт випромінювання, збільшується при зростанні довжини хвилі, навпаки $\epsilon\lambda_2 > \epsilon\lambda_1$, колірна температура завжди менше дійсної.

Радіаційною температурою реального тіла чи предмета T_p називають температуру чорного тіла, при якій його повна потужність випромінювання рівна його повній енергії, яка випромінюється реальним тілом за температурою T_∂ . Залежності дійсної температури та радіаційної виражається:

$$T_\partial = T_p \sqrt[4]{\frac{1}{\epsilon}} \quad (1.7)$$

де ϵ – ступінь чорноти фізичного тіла при всіх довжинах хвиль.

Так як, $0 < \epsilon < 1$, то радіаційна температура завжди менша за дійсну температуру тіла. Виділимо, що значення коефіцієнтів випромінювання у різних речовинах необхідно брати у спеціалізованих довідниках або можна визначати незалежними методами.

1.3. Різновиди пірометрів та їх особливості

Вище було зазначено, що пірометром називають безконтактний пристрій фіксування температури тіл. Принцип роботи ґрунтується на реєстрації інтенсивності випромінювання у видимому та інфрачервоному діапазоні тіл, що нагріваються, а у співвідношенні цього випромінювання з його температурою різниться, для якої воно характерне.

Тому, за принципом дії пірометри існують:

1) пірометри часткового випромінювання. Принцип дії пристрою ґрунтується на порівнянні випромінювання зі показниками випромінювання еталонної нитки, за допомогою якої проходить електричний струм. Величина

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		15

сили струму у цьому випадку і є значенням температури об'єкта, що досліджується. Діапазон вимірювання складає – 600...7000°C.

2) пірометри спектрального відношення діють шляхом порівняння енергії яскравості тіла з іншими ділянками спектру. Ці прилади використовуються як мінімум для двох ділянок, які досліджуються. Діапазон вимірювання складає – 320...2600°C.

3) пірометри повного випромінювання робота яких побудована на використанні радіаційного методу обмеженого випромінювання інфрачервоного діапазону хвиль. Ці пристрої додатково оснащуються лазерним прицілювачами для забезпечення більшої точності наведення вимірювання. Діапазон фіксування складає від -40 до 3000°C.

Також, пірометри поділяють за типом наочності прицілювання на об'єкт вимірювання:

1) пристрої з оптичним наведенням застосовуються для виміру на великій відстані від тіла, при прямому сонячному освітленні та для високотемпературних показників;

2) пристрої з лазерним прицілюванням відрізняються посиленою точністю та вимірюють температуру між двома лазерними вказівниками.

Також за коефіцієнтом випромінювання, який використовується:

3) змінний коефіцієнт випромінювання пірометра;

4) постійний або фіксований коефіцієнт пірометра.

При різному діапазоні температурного вимірювання пірометри бувають:

5) низькотемпературні пірометри (від -35°C) застосовують для дослідження температури за від'ємних значень, тому при цьому діапазон додатних вимірювань може бути достатньо суттєвим;

6) високотемпературні пірометри (більше +350°C) приміняють для вимірювання високої температури нагрітих об'єктів, при цьому вони не можуть вимірювати тіла з мінусовою температурою середовища.

За способом транспортування:

1) стаціонарні пірометри набули використання у важкій промисловості, наприклад можуть використовуватися задля постійного моніторингу виробництва

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
						16
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ливарної промисловості або пластмасових деталей. Такі пірометри монтують у важкодоступних приміщеннях задля безпеки робітників.

2) переносні пірометри використовують на різноманітних виробничих ділянках, де тільки постає необхідність в мобільності у поєднанні з точністю вимірювань та їх фіксування. Використовуються в різних галузях промисловості для відслідковування мануфактуризації.

Вибір потрібного пристрою вимірювання температури безконтактним чином залежить від цілі використання, галузі застосування, функціоналу, його технічних специфікацій та характеристик.

1.4. Принцип роботи пірометрів та їх схеми

В цілому робота пірометра полягає в ідентифікації теплових хвиль, які випромінюються за нагрітих поверхонь. Ознайомимося з принципом дії безконтактних вимірювачів температури окремо.

Суть дії яскравісного пірометра базується на зміні у вузькій ділянці спектру яскравості, яка випромінює об'єкт з яскравістю еталонної нитки що знаходяться одній і тій же хвилі випромінювання пристрою.

Даний тип пірометру має вигляд телескопу, який складається з об'єктиву (1) та окуляра (4). В середині цього пристрою у фокусі лінзи об'єктиву розміщена лампа розжарення (2) з ниткою, що має вигляд підкови (U). Джерелом для живлення є акумулятор (7). Для зміни потужності розжарювання нитки використовується реостат (8), зазначимо у даному приладі його функція лежить у зміні сили струму, яка прямує від акумулятора через U-нитку. Для отримання монохроматичного освітлення, окуляр пристрою обладнаний червоним світлофільтром (5), що пропускає промені лише певної довжини хвилі. З ціллю розширення меж вимірювання прилад вміщує сірий поглинаючий світлофільтр (3). Температуру визначають за допомогою так званого вбудованого мілівольметра (6), що має шкалу градування в градусах відповідно до розжарення нитки у лампі, як це зображено нижче (Рисунок 1.4).

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		17

До початку фіксування температури тіла необхідно здійснити налаштування оптичної ділянки яскравісного вимірювача, перемістити об'єктив таким способом, щоб зображення тіла і U-нитки знаходились в одній площині. За допомогою переміщення окуляра можна регулювати чіткість зображення даної нитки татіла, що підлягає вимірюванню та вимірюванню [13].

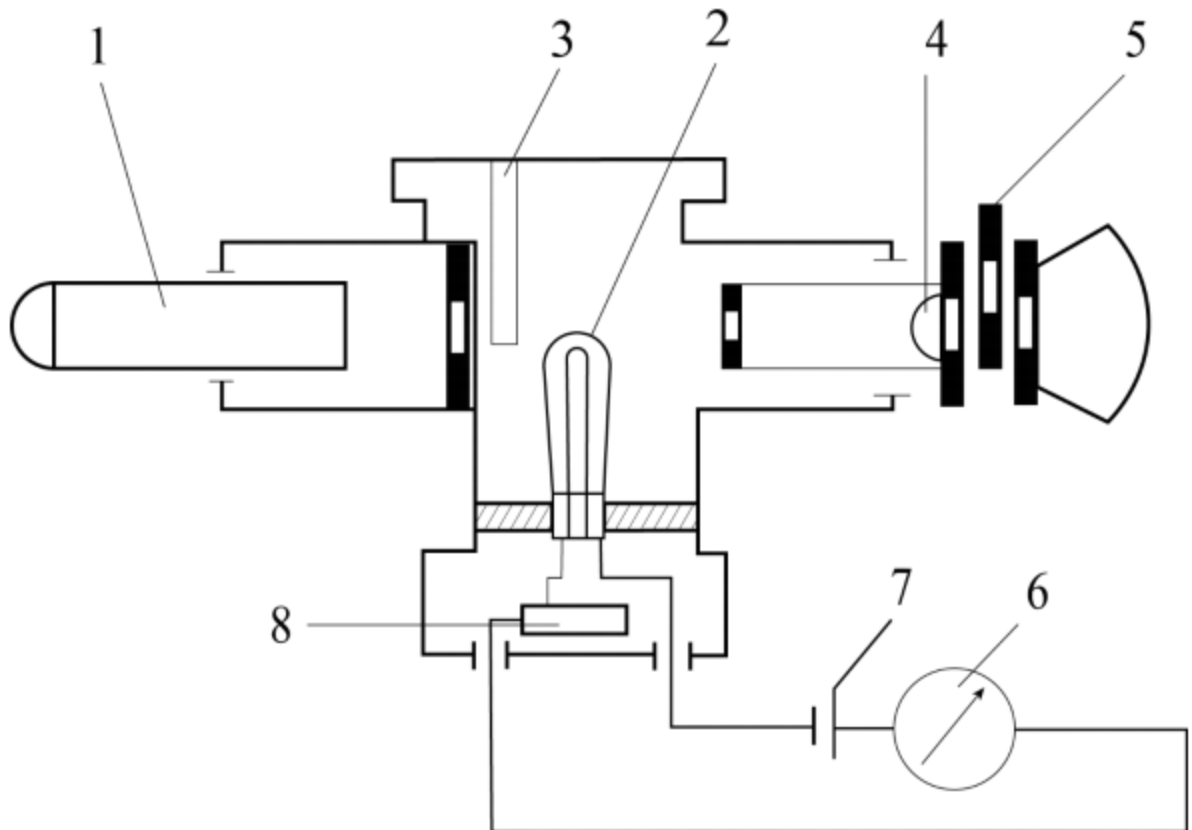


Рисунок 1.4 – Схема пірометра часткового випромінювання:

- 1 – лінза ; 2 – лампа розжарення; 3 – поглинальний світлофільтр;
 4 – лінза окуляра; 5 –світлофільтр; 6 – мілівольтметр;
 7 – реостат; 8 – джерело струму

Від акумулятора регулюється розжарення нитки лампи реостатом допоки яскравість середньої частини нитки не буде збігатися з яскравістю об'єкта, який підлягає вимірюванню. У цей час мілівольтметром за допомогою певної шкали визначають температуру.

Робота колірного пірометра полягає у визначенні випромінювання енергії нагрітого тіла у двох променях спектру тепмературного випромінювання (Рис.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

1.5). Температурні промені, що випромінює об'єкт через скло (1), оптичний об'єктив (2) та обтюратор прямує на фотоелемент (4). Синхронний двигун допомагає привести в рух обтюратор, який має округлу форму та містить два світлофільтра – червоний (Ч) та синій (С), і саме під час його руху по чергово потрапляє випромінювання.

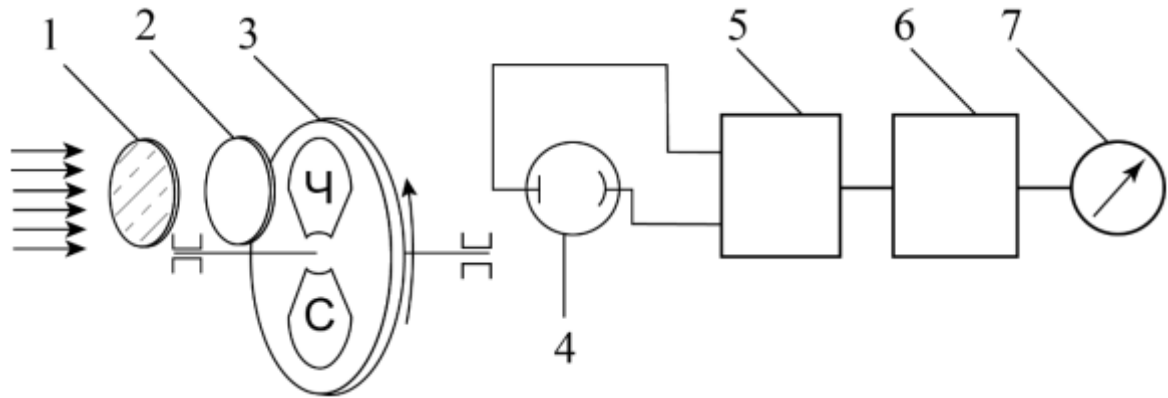


Рисунок 1.5 – Схема пірометра спектрального відношення:

1 – захисне оптичне скло; 2 – об'єктив; 3 – обтюратор; 4 – фотоелементи; 5 – електронний посилювач; 6 – логарифмічний внутрішній пристрій; 7 – мілівольтметр

У цьому пірометрі фотоелемент укладений в термостат з самостійним регулюванням, так як його спектральна характеристика залежить від температури. Фотострум, напруга що пропорційна відповідній інтенсивності випромінювання, множить за допомогою електронного підсилювача (5) і трансформується в постійний струм спеціальними логарифмічними пристроями (6). Сила вихідних струмів пристрою (6) фіксується мілівольтметром (7) та співставляється з його шкалою вимірювання.

В відміну від яркісних та колірних, що працюють лише в певній ділянці спектру, радіаційні чутливі в діапазоні хвиль, звідси впливає їх інша назва – пристрої повного випромінювання температури (Рисунок 1.6).

Теплове випромінювання нагрітого виду проходить крізь лінзу об'єктиву (1) та діафрагму (3) і далі до термоелектричної батареї (4), яка нагрівається. Тому нагрівання спаїв термоелемента усієї батареї фіксується за допомогою лише

мілівольтметра (6), який і дає змогу вичислити температуру тіла контролю. У радіаційному типі пірометрів діафрагма встановлена з ціллю зменшення числа променів, які падають на термоелектробатарей. Задля візування пристрою на тіло дослідження вбудовано окуляр (2). Так зване колірне скло (5) слугує захистом для очей при установці пірометра. Очевидно, що температура робочих кінців батарей не може бути більшою 260°C [14].

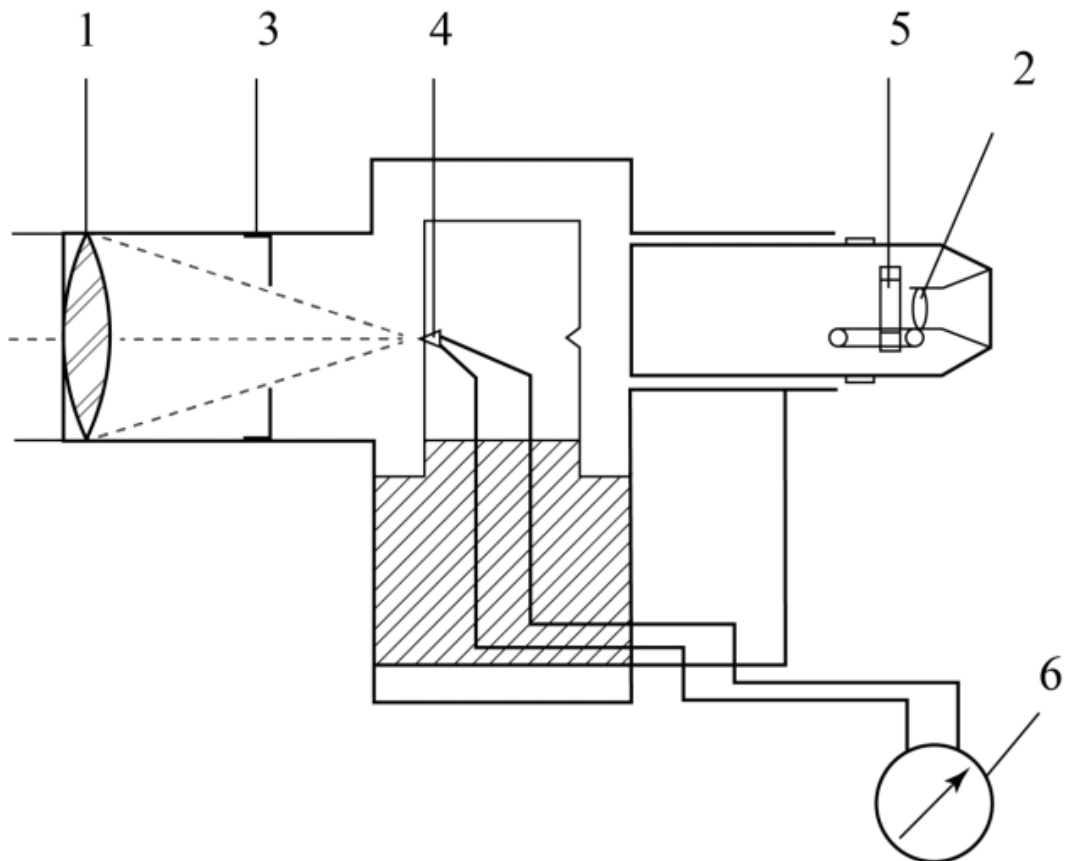


Рисунок 1.6 – Схема пірометра повного випромінювання:

1, 2 – лінзи об'єктиву або окуляра; 3 – діафрагма; 4 – термоелектробатарей пристрою; 5 – колірне скло; 6 – вбудований мілівольтметр.

Радіаційний пірометр у вимірюванні температури тіл може мати певні неточності, які унеможливають здійснення точного підрахунку кількостей енергії випромінювання, яка надходить в теплоприймачі. Це пояснюється процесом теплообмінування, яке відбувається між цим приймачем та усім навколишнім середовищем. Але, не дивлячись на ці недоліки, такі пірометри мають дуже широке використання у виробництві та вони можуть бути

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ

Арк.

20

встановлені стаціонарно, що забезпечить дистанційну передачу, зафіксування та регулювання показників температури пристрою.

1.5. Обґрунтування вибору пірометра радіаційного типу

На сьогодні сучасні радіаційні пірометри використовуються в різних галузях (як у виробництві, так і в побуті) тому допомагають багатьом спеціалістам в їхній щоденній роботі.

Популярність використання такого пристрою пояснюється рядом переваг. Найбільшою перевагою пірометрів радіаційного типу є порівняно легка конструкція, що робить його економічно вигідним та компактнішим у порівнянні з іншими видами пірометрів. Завдяки простій будові та маленькій кількості складових, термін дії експлуатації набагато більший, тобто такий пристрій ламається на багато рідше.

Невеликі розміри девайсу дозволяють користувачу носити його з собою або навіть у спеціальній сумці та за необхідності швидко скористуватися. Проте, у разі потреби негайного безперервного вимірювання температури тіла, його можна використовувати також як стаціонарний пристрій, закріпивши його на підставку столу або штатив. Низька собівартість виробництва пристрою, проста будова, наявність та доступність усіх комплектуючих дозволяє виробникам випускати часті пристрої за прийнятною ціною та у великій кількості продукції[15].

Ексклюзивною особливістю є здатність вимірювання від'ємних та дуже великих додатніх температурних показників до -50°C , що обумовлено здатністю захоплювати більший спектр теплового випромінювання, а саме не тільки ділянку інфрачервоного світла, а й частину видимого спектра. Такі пірометри чудово вимірюють температуру навіть нижче $300-400^{\circ}\text{C}$. Хороша роздільна здатність пристрою дозволяє проводити виміри температури скрізь, іноді в важкодоступних місцях.

Авжеж, крім позитивних сторін використання, прилад має і декілька недоліків. Точність кінцевих результатів вимірювання таким приладом залежить

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		21

від випромінювальних здатностей нагрітих тіл, тобто ці показники температури у яких однаково нагрітих матової та глянцевої поверхні тіл будуть видавати різні значення.

Такі особливості можна пояснити тим, що деякі тіла через різні випромінювальні здатності за схожої температури та інших рівних умовах видаватимуть різну кількість теплової енергії. Неточність показників температури тіл можна отримати і через його фізичний стан, іноді навіть особливостей структури поверхні, або наявності захисного покриття та природніх утворень на приладі. Мінімізувати цей недолік можна за рахунок спеціальних перемикачів, які дозволять скорегувати результати та удосконалити точність кінцевих показників температури та вимірювань. Точність результатів також залежить від проміжку між пірометром та нагрітим тілом, а саме чим далі знаходиться тіло дослідження від пристрою, тим більша ймовірність отримання хибних показників температури. Для вирішення цієї проблеми пірометри обладнують системою лінз, яка має високе оптичне розширення.

Розробка конструкції та принципу роботи у попередніх підрозділах та аналіз його сильних та слабких сторін допомогло зробити вибір у бік саме пірометру цього типу. Не дивлячись на властиві недоліки зазначеного пристрою, саме наявність великої кількості переваг роблять пірометр радіаційного типу популярним та розповсюдженим у порівнянні з іншими типами пірометрів. Простота конструкції, компактність, наявність та легкодоступність комплектуючих для проектування пристрою, величезний попит серед користувачів та здатність інтеграції з планшетом чи смартфоном через мобільні додатки стали вирішальними факторами у дослідженні та розробці пристрою у межах бакалаврської дипломної роботи.

					КвРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		22

1.6. Характеристика аналогів пристроїв безконтактного вимірювання температури

Зараз на ринку представлено широкий асортимент різних безконтактних вимірювачів температури, що відрізняються між собою за технічними характеристиками, дизайном, ціною, компактністю, наявністю зручних додаткових функцій, програмного забезпечення, та ін.

Пірометр Optris Minisight (MS) має широкий діапазон вимірювання температури (-30...400°C), лазер для точності та високу оптичну здатність 20:1, яка дозволяє використовувати цей пристрій для виявлення недоліків і діагностики проблем електричного та механічного обладнання, дослідження схем вентиляції та кондиціонування та інших галузей, де необхідно здійснювати контроль термодинаміки. Optris MS дозволяє вимірювати не великі об'єкти, діаметром до 12 мм.

Вбудована пам'ять і ПЗ Optris Connect Report дозволяє зберігати і передавати деякі результати дослідження усіх показників температури на персональному комп'ютері, а також створювати звітні документи з показниками температури.

Пірометр має зручну та нескладну експлуатацію і будову, потрібно лише навести його на тіло, натиснути на кнопку, утримати її та отримати значення показника вимірювання температури на вбудованому OLDE-дисплеї. Загальний вигляд Optris MS представлено на рис. 1.7. Прилад Optris MS виконаний у вигляді пульта, і на верхній панелі має велику кнопку для вимірювання температури тіла, має вбудований рідкокристалічний дисплей з неоновим підсвічуванням.

Компактний пірометр під назвою testo 805i забезпечує безконтактне вимірювання температури з поверхонь в приміщеннях, на елементах систем будь-якого кондиціонування/обігріву або навіть пошук місць утворення плісняви. Має великий діапазон вимірювання температури у межах -20...200°C. А розподільна оптична здатність 10:1 дає змогу зробити вимір у важкодоступних місцях. Найбільша точність наведення на ціль дослідження надається за допомогою вбудованого лазера із, який має змогу позначати границі обхвату тіла.

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
						23
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.7 – Загальний вигляд приладу Optris Minisight

Наведений вимірювач працює в поєднанні з додатком на базі Android та Apple IOS. Щоб розпочати роботу необхідно встановити додаток testo Smart Probes, і також не забути дані про вимірювання температури отримані від цього приладу передаються на смартфони/планшети через Bluetooth. Після цього користувач може легко ознайомитися з отриманими показниками виміру, спроектувати діаграму, таблицю, ділитися показниками з іншими по електронній пошті в форматі документів Excel або простих PDF-файлів. Додатково за допомогою додатку також можна зробити фотографію тіла дослідження. Загальний вигляд пірометра Testo 805i наведено нижче на на рис 1.8.



Рисунок 1.8 – Загальний вигляд приладу Testo 805i

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ

Арк.

24

Приємний дизайн та комфортна форма пірометра Testo 805i, вбудований зелений датчик що забезпечує підключення до мобільного додатку на смартфоні, комфортну кнопку для початку вимірювання температури.

Пірометр GM320 Venetech – це не дорогий промисловий прилад, в якому основними сферами застосування являється енергоаудит приміщення, пошук точок холоду, вимірювання систем опалення, використання в кулінарних та повсякденних цілях. Діапазон вимірювання температури $-55...360^{\circ}\text{C}$. Не дивлячись на досить не високу вартість пірометр в змозі надати достатню точність вимірювання. Розподільна здатність складає 12:1, чого достатньо і дозволяє відійти від нагрітого тіла на безпечну відстань (вимірювання тіла, що знаходиться під високою напругою, іноді навіть бризками гарячої води). Загальний вигляд пірометра GM320 Venetech наведено на на рис 1.9.



Рисунок 1.9 – Загальний вигляд приладу GM320 Venetech

Даний девайс виконаний у вигляді «пістолету», він є досить компактний, має гарний захват долоні, також на робочому інтерфейсі вміщує вбудований LCD-дисплей з підсвіченням вночі та три кнопки які забезпечують включення та вимкнення лазера, контроль звукового сигналу та перемикання шкали вимірювання.

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		25

Таблиця 1.1 – Порівняльні характеристики аналогів у обраних пірометрів

Параметр	Прилади		
	Optris Minisight (MS)	Testo 805i	GM320
Температурний діапазон пристрою	-30...400°C	-35...200°C	-40...300°C
Робоча температура	0...40°C	-10...55°C	0...40°C
Точність вимірювання	± 1%	± 1,5%	± 1,5%
Роздільна здатність (D:S)	20:1	12:1	15:1
Коефіцієнт емісії	0,65	0,2 – 2	0,85
Час вимірювання	0,2 с	0,2 с	0,4 с
Довжина хвилі	6 – 12 мкм	6 – 12 мкм	6 – 12 мкм
Розширення	0,1 °C/°F	0,2 °C/°F	0,2 °C/°F
Дисплей	OLED	–	LCD
Живлення пірометра	1 батарея 9В, «Крона»	5,5В (3 × 2В, ААА)	4В (2 × 2В, ААА)
Розміри пірометрів	195 × 32 × 40 мм	145 × 32 × 20 мм	140 × 90 × 32 мм
Вага	125 г	95 г	110 г
Наявність лазера	+	+	+
Спеціальні функції пірометра	Пам'ять і ПО OptrisConnect Report	Додаток testo Smart Probes	–

По даним наведених у таблиці 1.1 можна сказати, що кожені з представлених пірометрів мають більшість однакових технічних характеристик, але їх відмінність полягає у можливостях корегування коефіцієнтів емісії тих чи

інших спеціальних функцій. Крім цього, мова йде про мобільні додатки та ПО, які дають можливість оптимізувати звітні матеріали.

Висновки до розділу 1

У цьому розділі було досліджено теоретичну основу безконтактного вимірювання температури, яка дозволила зробити наступні висновки:

1) пірометри мають вагомі переваги над контактними приладами для вимірювання температури, оскільки дають можливість вимірювати її дистанційно, отримати оперативний звіт щодо показника температури, а також мають велетенський діапазон виміру високих температур тіл;

2) досліджено особливості безконтактних пристроїв, основою яких виступає здатність вимірювання без необхідності теплового контакту між пірометром та тілом, для визначення температури.

3) аналіз типів пірометрів, їх види, характеристики потужностей, розгляд їх схеми та принципи функціонування, огляд їх сильних та слабких функцій дозволив зробити вибір у наведену сторону розробки саме радіаційного типу, оскільки він є більш зручним та простим за будовою;

4) на сьогоднішній день автоматизація різних процесів швидко набирає обертів, тому поєднання з мобільним додатком приладу для автоматизації процесу виміру температури як у повсякденному житті, так і на виробництві є чудовим для цього рішенням, адже це забезпечує користувачам відмінні умови та комфорт під час процесу визначення температур, а також ви зможете отримати високоточні результати дослідження за лічені секунди. Далі робота буде направлена на проектування корпусу пристрою.

5) за допомогою схем пірометрів, було наглядно продемонстровано їх відмінність та унікальність одне від одного, згадані сильні та слабкі сторони. За допомогою схем зображено повну структуру пірометрів, їх конструкцію та функціонування.

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 ПРОЕКТУВАННЯ ПРИСТРОЮ З КІБЕРФІЗИЧНОЮ СИСТЕМОЮ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

2.1. Функціональна схема кіберфізичної системи безконтактного вимірювання температури.

Процеси, які відбуваються в деяких функціональних колах приладу демонструють на функціональних схемах. Функціональна схема приладу безконтактного вимірювання температури продемонстрована на рисунку. 2.1 .

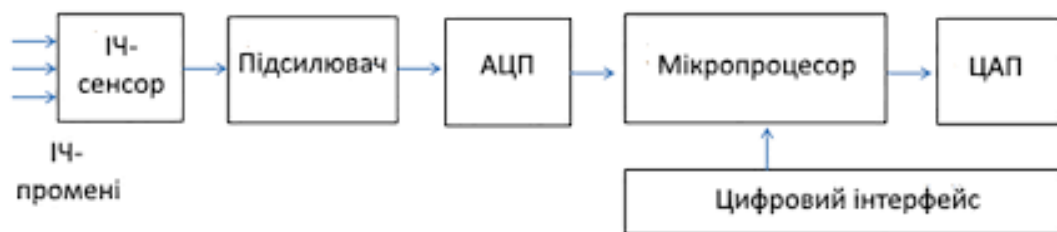


Рисунок 2.1 – Функціональна схема кіберфізичної системи безконтактного вимірювання температури.

Інфрачервоні-промені потрапляють в інфрачервоний-сенсор та передають цифровий сигнал з приймача в цілях подальшої обробки прямує до ПАП, в яку вже вбудовано мікроконтролер ATmega328P з аналого-цифровим перетворювачем (АЦП). Для кращого визначення місця виміру користувачем пристрою вбудовано вказівник [18]. Модуль звукової індикації має призначення для звукового сповіщення користувача під час отримання результатів вимірювання нагрітого тіла. Отримані результати вимірювання необхідних показників ілюструються на вбудований OLED-дисплей діагоналлю 0,96 дюйма (Цифровий інтерфейс). Для управління приладом представлено кнопкову систему, що складається механічних та сенсорних кнопок. В якості джерела живлення використовується літій-іонний акумулятор з платою зарядки (ЦАП) та підсиленням вихідного струму до 9 В.

На основі функціональної схеми було розроблено макет мікросхеми пристрою (рис. 2.2).

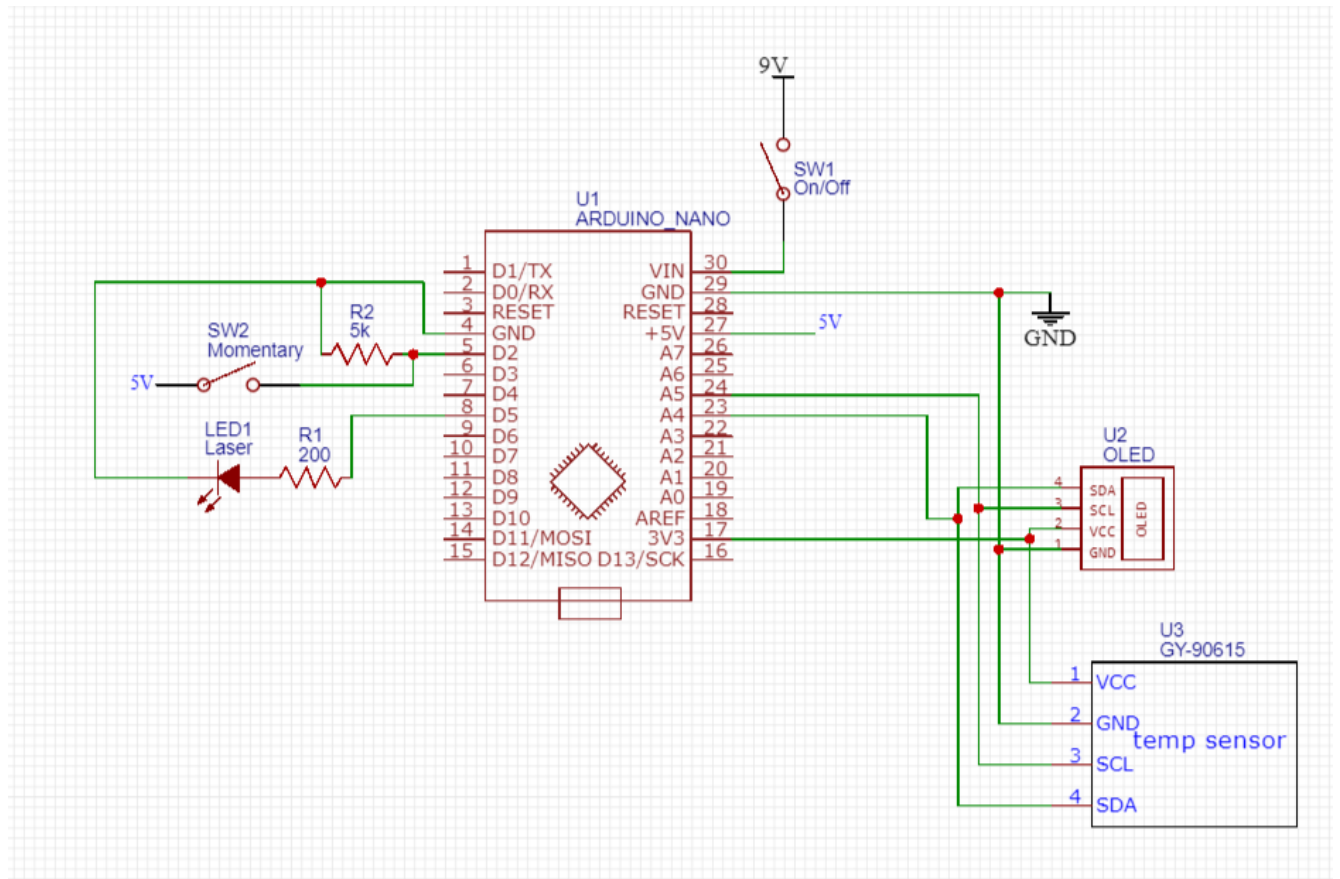


Рисунок 2.2 – Макет мікросхеми проектного пристрою

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

2.2 Необхідність автоматизації вимірювання температури

При проведенні більшості дослідницьких робіт постає необхідність дотримання температурного режиму, що встановлюється спеціальними пристроями. Візуальне спостереження за температурою впродовж тривалого проміжку часу дуже виснажує, більше з цим це важко і не завжди можна впровадити в життя. Автоматизація процесу вимірювання дозволить легко, безперебійно або за певними проміжками в часі здійснювати контроль замірів температурних показників як буває на виробництві, так іноді в побуті. Для реєстрації зміни температури приміняють спеціальні прилади – пірометри. Застосування таких пристроїв у діагностиці температури не потребує припинення певних технологічних процесів і габаритних установок, так як всі вимірювання проводяться дуже швидко і з безпечної відстані від нагрітого тіла дослідження [16-17].

Примінення температурного контролю пірометром дає дозвіл підвищити якість готової продукції, надати бездефектне виробництво, запобігти аварійні ситуації та відновити термін експлуатації. Безконтактні прилади виміру створені забезпечувати користувачу якомогабільший комфорт та безпеку при використанні, а також отримувати найточніші результати вимірювання температури.

Сьогодні набирає популярності автоматизація різних процесів за допомогою програмних додатків. Поєднання безконтактного термометра та створення спеціального мобільного додатку – відмінний спосіб полегшити працю контролюючого, впровадити його оперативними даними за допомогою відтворення звітів, моментальної візуалізації змін показників за допомогою графіка, таблиці та діаграми, фіксуванні проблемних ділянок та фотографування на смартфон, можливість встановити графік вимірювання температури, задавати проміжок функціонування показників, сигналізувати про похибки від встановленого діапазону температури та багато інших зручностей.

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2.3. Програмне забезпечення Arduino для кіберфізичної системи безконтактного вимірювання температури та його збереження в сервісі adafruit.

За допомогою сервісу adafruit та його підключення до мережі Wi-fi можна з легкістю передавати інформацію про вимірювання на хмару з якої можна відслідковувати динаміку вимірювань. (рис. 2.3.)

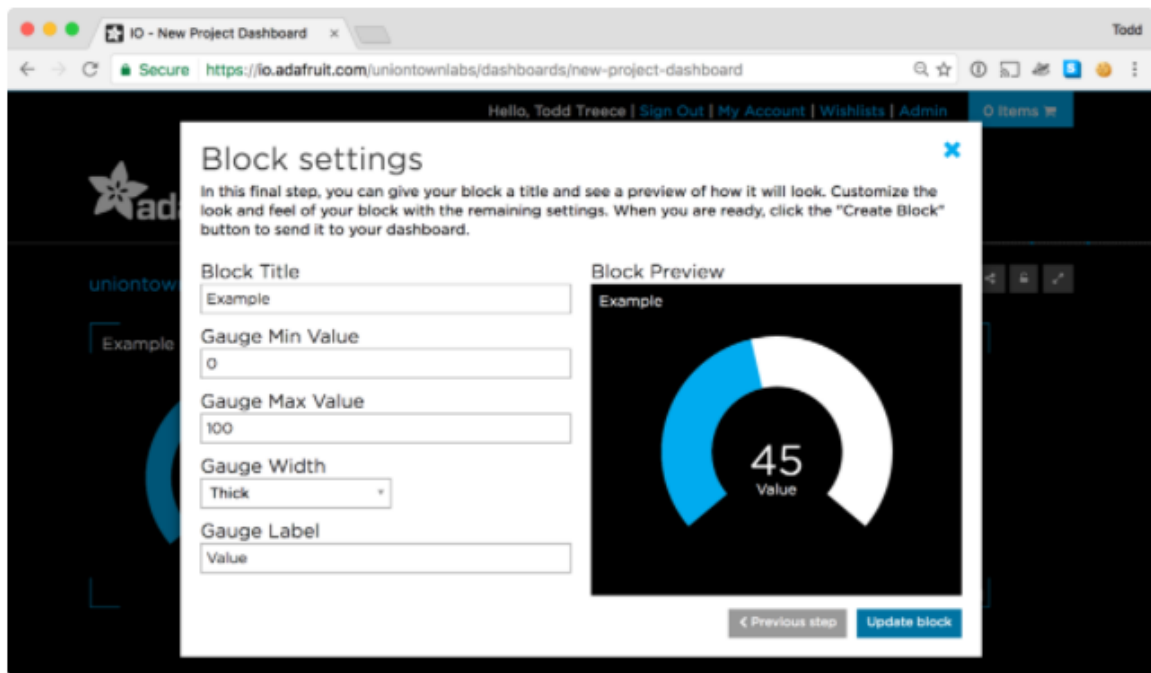


Рисунок 2.3 – Зразок роботи та налаштувань сервісу adafruit

На сервісі є інформація та профілі других користувачів, які можна використовувати у своїх цілях. Усі данні можна робити як публічними, так і прихованими.

В мові Arduino є дві основні функції на яких будується уся програма:

1. Setup – функція яка завантажує програму, перевіряє усі інші параметри, підключення Wi-fi, та запускає роботу програми вимірювання температури.

2. Loop – функція яка запускається одразу після Setup, і виконується знову і знову при натиску кнопки “MESURE” і передає інформацію з вимірюваннями на OLED-дисплей.

Після вимірювань вся інформація зберігається в середовищі adafruit де її можна переглянути ти відобразити в будь-якому зручному вигляді: діаграми, графіка, петлі і тд.

[View Asset](#)

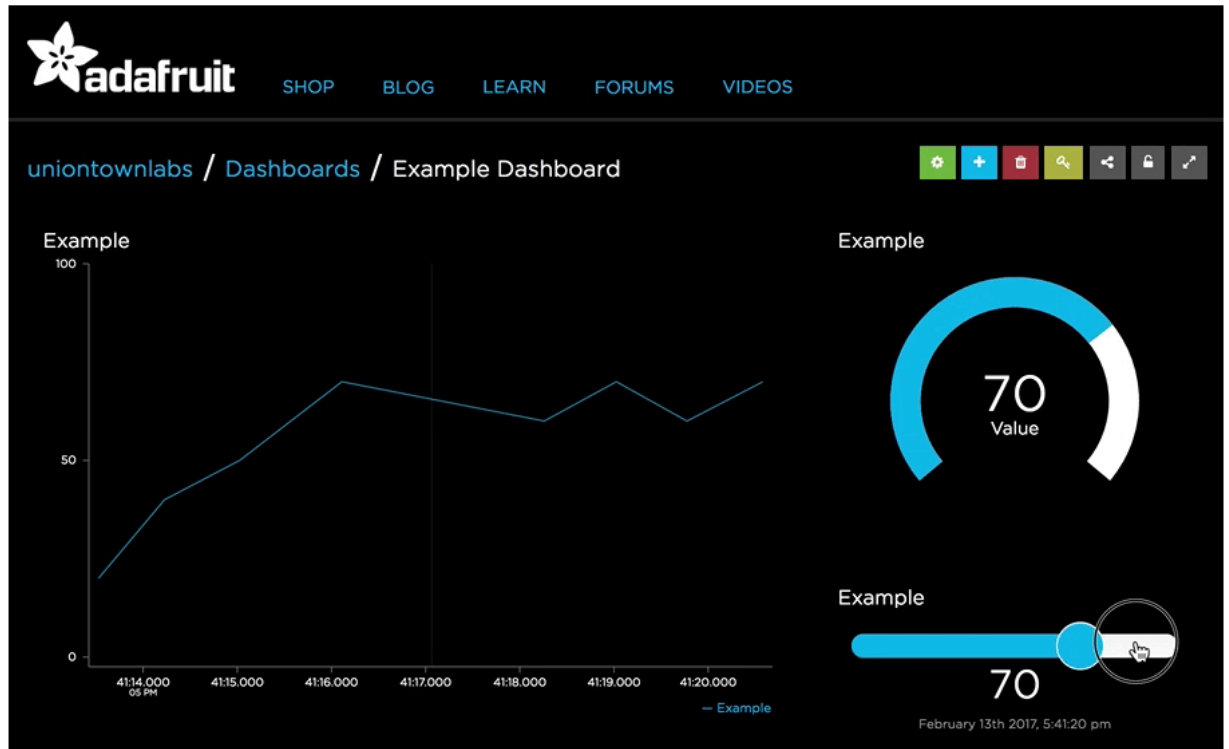


Рисунок 2.4 – Зображення вимірювань в вигляді графіка

Вся програмна частина з кодом Arduino буде прикріплена в Додатку Г.

2.3. Проектування корпусу для кіберфізичної системи безконтактного вимірювання температури.

Весь корпус пристрою було спроектовано в онлайн сервісі Sketch-Up, що є дуже зручним для створювання різних 3D моделей для подальшого їх друку на 3D принтері. Звісно для того, щоб оволодіти цим сервісом потрібен час, але за допомогою цього, будь яка деталь, яка може знадобитись в майбутньому тепер легко може бути розроблена в цьому середовищі.

Для використання Sketch-Up потрібно лише аккаунт в Google та електронна пошта, щоб мати свій власний профайл. Усі роботи зберігаються на хмарі Google або ж можуть одразу бути завантажені на носій.

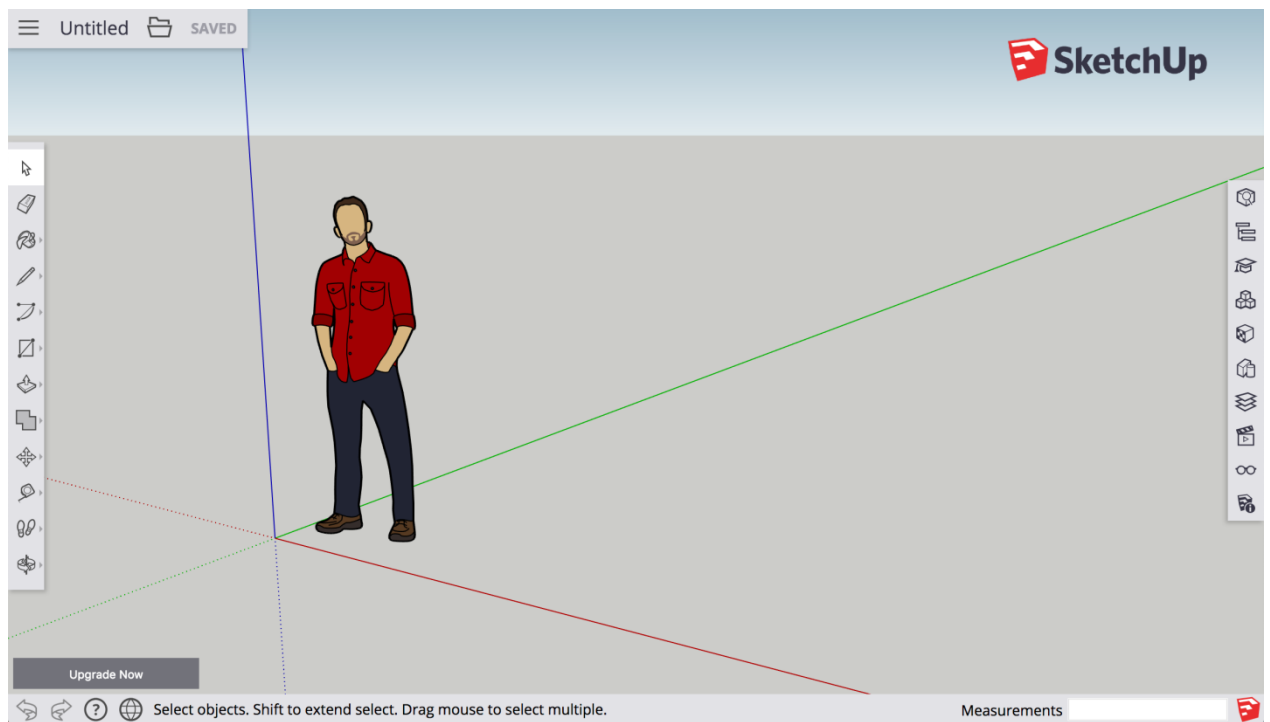


Рисунок 2.5 – Вигляд інтерфейсу середовища Sketch-Up

Загальний вигляд корпусу було обрано для забезпечення зручності та економії на матеріалі для друку. Колір – чорний, так як чорний пластик на ринку один з найдешевших.

В нижній частині корпусу термометра створено місце для 9 В акумулятора, кнопки живлення та механізму триггеру кнопки вимірювання температури. Основна поверхня буде закриватись кришкою, під якою було спроектовано спеціальне місце для проведення дротів, що будуть під'єднані до пристрою. Ці компоненти будуть розташовані в верхній частині спроектованого корпусу.



Рисунок 2.5 – Основна частина корпусу пристрою



Рисунок 2.5 – Задня частина основи корпусу пристрою

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ

Арк.

34

В основній частині розроблено спеціальний отвір для 96 дюймового OLED дисплею та в верхній області передньої частини також залишено отвір для MLX90614 сенсора та лазера. Лазер та сенсор можуть легко можуть бути туди встановлені. Як вже було сказано в верхній секції будуть розташовані всі дроти, що означає, що й Arduino Nano також буде розміщуватись там. Правду кажучи, місця для всіх дротів може виявитись не цілком достатньо. Для зручного та надійного укомплектування можна використати клеєний пістолет, що допоможе без усіляких проблем вирішити цей недолік. Після укомплектування, верхня частина накривається кришкою (рис 2.7).

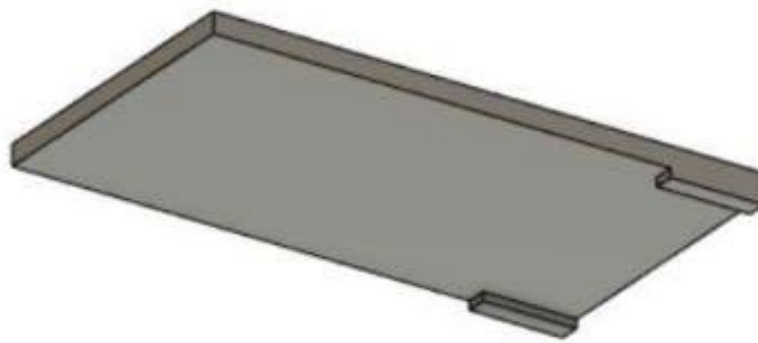


Рисунок 2.7 – Кришка для верхньої частини основи корпусу пристрою

Далі комплектація надзвичайно проста. Залишилось лише дві деталі які потрібно додати, а саме передня частина для лазера та сенсора (рис 2.8.) та отвір для кнопки (рис 2.9.).

Встановлення цих частин досить легке та не повинно викликати будь-яких труднощів. Кнопка для вимірювання може бути трохи ніжною, тому встановлювати її потрібно обережно.



Рисунок 2.8 – Отвір для кнопки вимірювання температури



Рисунок 2.9 – Передня частина корпусу з отворами для лазера та сенсора

Висновки до розділу 2

У другому розділі було проведено проектування кіберфізичного пристрою безконтактного вимірювання температури. Звідси, впливають наступні моменти:

1) здійснено побудову функціональної схеми пірометра, що дало змогу розробити макет пристрою для вимірювання температури та вибрати для нього оптимальні та не дорогі комплектуючі, побудована схема функціонування пристрою для його подальшої розробки;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

2) за допомогою програмної мови Arduino написана програма, що дає змогу швидко вимірювати температуру, показувати її на OLED-дисплей, зберігати та відстежувати дані вимірювань на хмарі, або з будь-якого іншого пристрою;

3) описана робота сервісу adafruit за допомогою його можна спостерігати за динамікою вимірювань;

4) розроблено та спроектовано корпус для пристрою, описані всі деталі, середовище його проектування, детальна інструкція по його збору та конструюванню, описаний вибір матеріалів для 3D друку.

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		37

3 ПІДБІР КОМПЛЕКТУЮЧИХ ДЛЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРИБРОЮ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

3.1. Вибір апаратно-програмної платформи

В якості апаратно-програмної частини вирішено використовувати Arduino Nano, що представляє собою мініатюрну плату оснащену мікроконтролером АТМega328Р з аналого-цифровим перетворювачем.

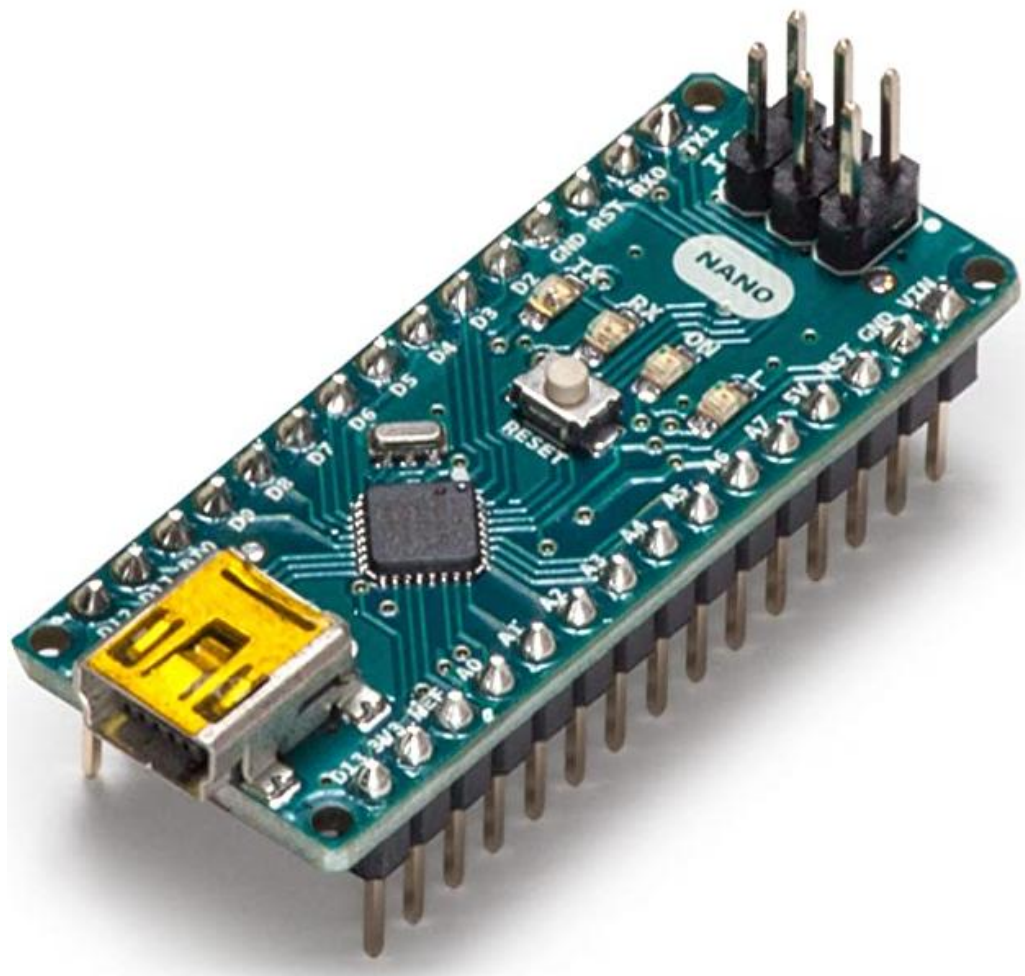


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд Arduino Nano

Мозком даного конструктора є АТМega328Р – 8-ми розрядний CMOS мікроконтролер з розряду AVR заснований на удосконаленій архітектурі RISC, що дозволяє виконувати майже всі команди за один такт. Основними перевагами пристрою є вбудована пам'ять на 32 КБ, пам'ять SRAM – 2 КБ та EEPROM – 1

КБ. Крім цього, МК містить 8-канальний процесор і його роздільна здатність складає $5 \text{ В}/1024 = 0,0049 \text{ В}$.

Зовнішній вигляд мікроконтролера наведено на рис. 3.2.

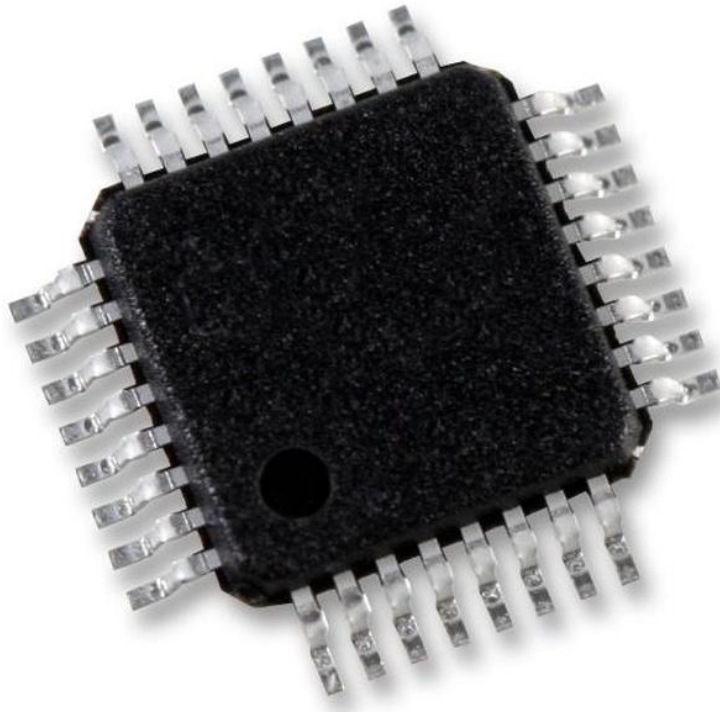


Рисунок 3.2 – ATmega328P – вбудований МК

ATmega328P має 32 виходи і модель корпусу «TQFP 32A». За допомогою таких цифрових виходів як RX та TX мікроконтролер підтримує зв'язок по послідовному унікальному інтерфейсу UART. Аналогічно, ATmega328P підтримує усі послідовні інтерфейси I2C та SPI. Мікросхема CH340G підтримує зв'язок з USB-портомом приймача на персональному комп'ютері.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ

Арк.

39

Таблиця 3.1 – Наведено основні характеристики Arduino Nano:

Характеристики пристрою	Параметри пристрою
Напруга живлення пристрою	5.0 В
Вхідна напруга (рекомендована)	7...12 В
Вхідна напруга (гранична)	6...20 В
Цифрові виходи I/O пристрою	14 ліній (6 з яких – ШІМ)
Максимальний струм на виході I/O	40.0 мА (для кожного виводу)
Максимальний струм на виході 3,3V	50.0 мА
Flash- пам'ять пристрою	32.0 КБ
SRAM пристрою	2.0 КБ
EEPROM пристрою	1.0 КБ
Тактова частота пристрою	16 МГц
Розміри пристрою	45мм × 18 мм
Вага пристрою	6.0 г

Технічні характеристики пристрою Arduino Nano v 3.0 повністю підходять під використання саме цієї плати у проєктованому пірометрі.

Переваги використання цієї АПП при конструюванні пірометра наступні: відсутня необхідність додатково паяти, через те що елементи з'єднуються за допомогою спеціальних проводів, перемичок та макетних дошок;

1) програмне забезпечення (ПО) працює в операційних системах в таких як macOS, Windows та Linux, адже більшість подібних пристроїв обмежені OSWindows;

2) можливість створення компактних пристроїв; – вбудований програматор, що дозволяє налаштовувати систему через персональний комп'ютер (за допомогою USB-кабелю);

3) приємна цінова політика;

4) простота та доступність, що дозволяє значно економити час; – кроссплатформеність

5) гарні технологічні характеристики.

Arduino була визнана найпопулярнішою апаратно-програмною платформою через її багатofункціональності та зручності.

3.2. Підбір дисплею пристрою

Для візуалізації отриманих вимірювань був обраний OLED-дисплей I2C (128×32). На відміну від рідкокристалічних дисплеїв, що використовуються у більшості пірометрів які представлених на ринку, дисплеї виготовлені по технології OLED не потребують підсвічення, завдяки чому пристроєм з даним екраном буде зручно користуватися навіть у повній темноті (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – OLED-дисплей пристрою

За допомогою данної особливості, чорний колір дисплею – є дійсно чорним, оскільки світлодіод, що вимкнений не світиться у темряві, а білий колір залишається білим, тому що не проходить через шар рідких кристалів або тонкоплівкових транзисторів. Кут огляду більше ніж 160° досягається завдяки

використанню органічних світлодіодів, звісно це також дозволило знизити енергоспоживання. Даний дисплей наділений високою контрастністю, що підвищує чіткість зображень та тексту. Ще однією перевагою OLED-дисплея є його доволі компактні габарити, що дозволяють використовувати його у компактних приборах [19].

Таблиця 3.2 – Технічні особливості даного дисплею

Характеристики	Параметри
Тип дисплея пристрою	на основі органічних світлодіодів
Роздільна здатність пристрою	128×32 пікселів
Інтерфейс пристрою	I2C, підтримується Arduino, WeMos, STM32 і безліччю інших МК та різних плат
Кут огляду пристрою	$0 > 150^\circ$
Енергоспоживання пристрою	0,060 В (при світінні цілого екрану);
Кількість кольорів пристрою	білого та чорного
Яскравість пристрою	$0 > 100$ кд/м ²
Напруга живлення пристрою	5 В
Колір пікселів пристрою	білого
Коефіцієнт контрастності пристрою	$0 < 9$ мкс
Робоча температура пристрою	-30 - 70°C
Габарити пристрою	20×20 мм
Вага пристрою	5.0 г

Якість інформації, яка відображається на дисплеї пристрою, ідеальні кути огляду та низька вартість характеризують його дійсну популярність серед інших дисплеїв, які представлені на ринку.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Також доцільно буде зазначити, що пірметрів з OLED-дисплеями ще дуже мало, тому використання даного елемента забезпечить додаткову конкуренту перевагу серед інших моделей на ринку що є важливим нюансом при проектуванні та розробці даного пристрою.

3.3. Підбір модуля безконтактного вимірювання температури

Для безконтактного вимірювання температури в пірметр було встановлено модуль MLX90614. Наведений датчик має дійсно широку сферу застосування – для вимірювання температури рухомих або ж важкодоступних тіл, що є важливим для функціоналу даного приладу (рисунок. 3.4).



Рисунок 3.4 – MLX90614 - модуль безконтактного термометра

Використовуючи даний прилад, показники виміру температур можна зчитувати двома способами. Перший спосіб передбачає сканування даних через SMBus-інтерфейс, який в свою чергу є аналогом I2C, а другий спосіб – через ШІМ-вихід з частотою у 10 Гц.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Таблиця 3.3 – Технічні особливості датчика безконтактного вимірювання температури.

Характеристики	Специфікація
Калібрування пристрою	Заводське
Температурний робочий діапазон	-35 - 70°C
Діапазон виміру пристрою	-75 - 355°C
Інтерфейс пристрою	SMBus, PWM
Точність вимірювань пристрою	1,5°C для діапазону у 0...50°C
Напруга пристрою	9 В
Роздільна здатність пристрою	0,025°C
Розміри пристрою	16×11 мм

Вагомими перевагами цього модулю, що і вплинули на цей вибір стали малі розміри, невелика вартість, хороші технічні особливості, низьке енергоспоживання та доступність. Даний датчик має широкі перспективи у конфігурації, калібруванні та програмуванні. Крім цього, він має вбудований стабілізатор, зручні отвори для кріплення та резистори на цифровій шині. Точність вимірювання та Висока роздільна здатність забезпечується вбудованому підсилювачу, потужному блоку DSP та 17-бітному АЦП. Задля захисту датчика від сонячних променів було вбудовано оптичний фільтр, який відсікає близький інфрачервоний та видимий потік випромінювання.

Діапазон пропускання довжини даної хвилі фільтра складає 5 - 13 мкм. Також доцільно буде зазначити, що точність отриманих даних буде залежати від ізотермічних умов та теплової рівноваги, в яких перебуває датчик.

3.4. Підбір додаткових елементів: типу живлення, лазерного вказівника, та датчика керування

Даний модуль здатен продукувати випромінювання в ~ 650 нм діапазоні з максимальною постійною напругою ~ 5 мВт. Даний лазер може використовуватися в різноманітних пристроях на базі Arduino та інших мікроконтролерах. Робоча температура в рамках $-30\dots 65^\circ\text{C}$. Розміри: $6,5\times 18$ мм.

Для зручного керування пристроєм вирішено використовувати звичайну кнопку для вимірювання температури та кнопку-перемикач живлення, яка буде з'єднуватись з акумулятором (рис 3.7 та рис.3.8)



Рисунок 3.7 – Кнопка вимірювання температури



Рисунок 3.8 – Перемикач живлення

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ

Арк.

46

Із обраних мной вище комплектуючих на даній макетній платі було складено робочий даного прототип приладу для вимірювання температури безконтактним методом (рисунок 3.9.). Це лише зразковий макет знайденого фото з інтернету, так як сконструювати дану модель спроб ще не проводилось, але це ще все в процесі. Ось такий вигляд має приблизно вигляд має цей макет.

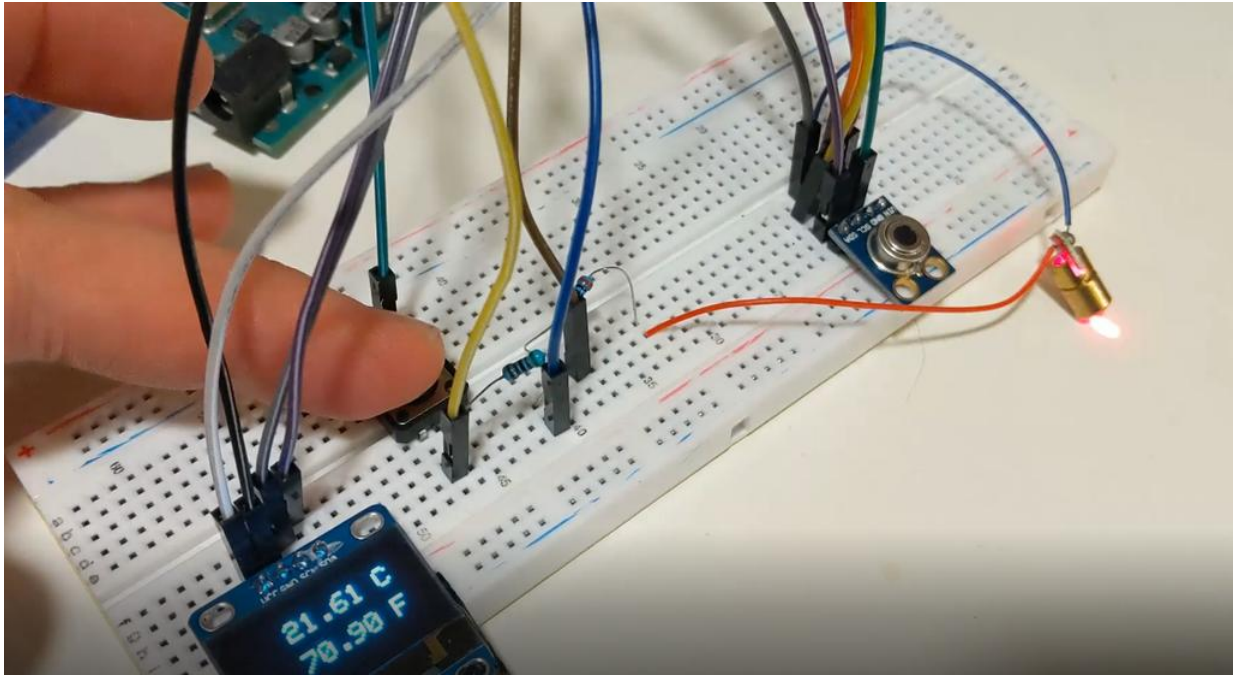


Рисунок 3.9 – Сконструйована макетна плата приладу безконтактного вимірювання температури

3.5. Вибір програмного забезпечення Arduino та його встановлення.

Вище вже не одноразово було згадано, чому саме найкращий спосіб проектування даного пристрою проходить через Arduino. Зараз буде детально та покроково роз'яснено, як його встановити на Arduino Nano та де його найкраще зкомпілювати. Для початку потрібно завантажити Arduino IDE 1.8.15, найновішу та найзручнішу версію, за допомогою якої буде здійснено цей процес (рис 3.10.).

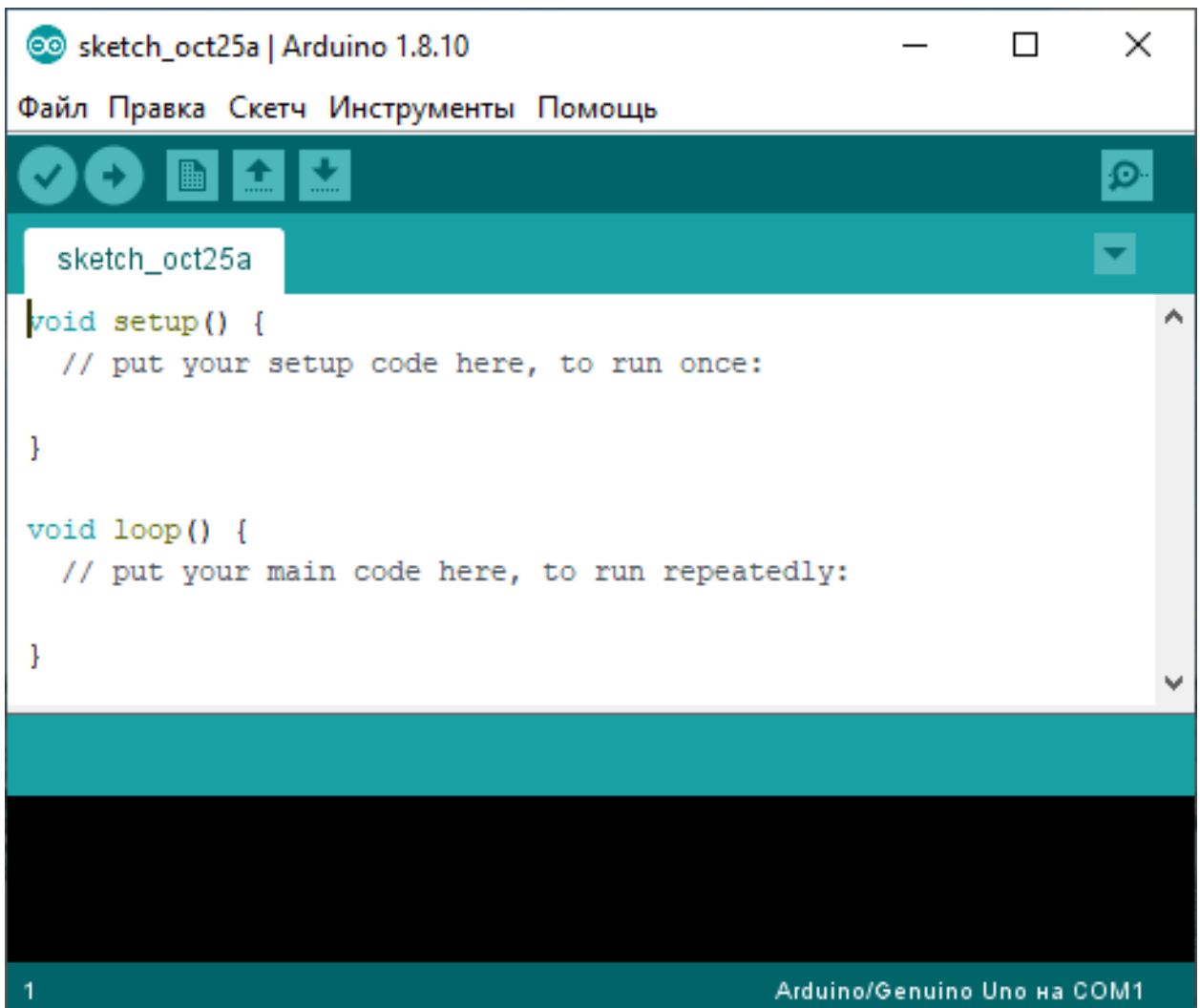


Рисунок 3.10 – Зразок роботи зкомпільованого коду в середовищі Arduino

Програма для Arduino повинна зчитати значення температури з MLX90614 та відобразити його на OLED-дисплеї. Програма буде досить легкою, так як Adafruit надала нам можливість використовувати наступні бібліотеки для зручного зчитування даних з MLX90614:

1. Adafruit_SSD1306.
2. SparkFun_MLX90614_Arduino_Library.

Далі потрібно зкомпілювати код та завантажити його на плату за допомогою з'єднання її з комп'ютером.

3.6. Огляд функціоналу та принципу користування приладу безконтактного вимірювання температури

Основна функція спроектованого пристрою – безконтактне вимірювання температури, вона є доволі простою і зараз буде продемонстрована (рис. 3.11.)

Для початку виміру, потрібно направити пристрій на об'єкт дослідження та натиснути на кнопку (1). На основному екрані зображується поточний показник замірів. Направляється пристрій за допомогою лазера для більшої зручності та точності направлення (3).

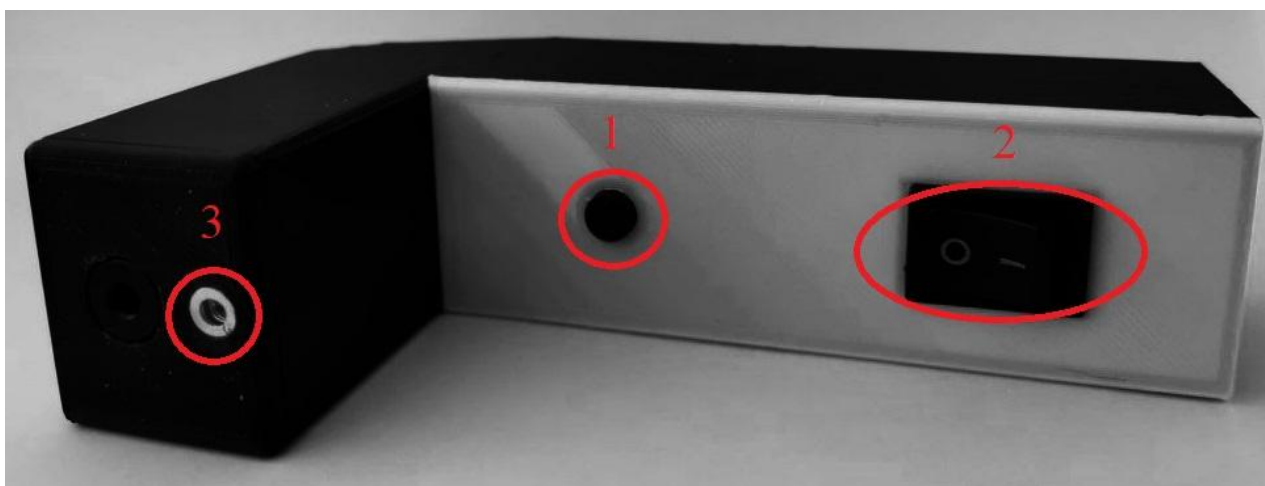


Рисунок 3.11 – Інструкція по використанню пристрою

Вмикається та вимикається пристрій за допомогою простого перемикача (2).

При ввімкненні, прилад буде показувати наступні символи (рис. 3.12.), що означатиме, що він готовий до використання.



Рисунок 3.12 – Готовий до використання прилад

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Усі вимірювання будуть показані як у градусах цельсія так і у фаренгейтах, що робить прилад ще більш універсальним. За для збереження заряду акумулятора пристрій рекомендовано вимикати, так як показника заряду немає. Якщо пристрій перестане вмикатись, потрібно зарядити акумулятор або взяти новий. Ось приклад роботи самого пристрою на звичайній поверхні. (рис. 3.13.)



Рисунок 3.12 – Приклад роботи пристрою

Висновки до розділу 3

У межах третього розділу був здійснений підбір елементів для розробки приладу безконтактного вимірювання температури.

До основних компонентів даного пристрою входить:

- 1) апаратно-програмна платформа (Arduino Nano)
- 2) компактний OLED-дисплей
- 3) датчики безконтактного вимірювання температури об'єктів
- 4) Wi-fi модуль для подальшої передачі інформації на сервіс adafruit,

зادля полегшення використання пристрою користувачем.

Завдяки підібраним комплектуючим, з'явилась змога зробити компактний пристрій з безліччю корисних для кінцевого юзера функцій.

Проведене повне конструювання приладу, інструкцію до його використання, приклад його роботи та функціонування.

Детально описане встановлення програмного забезпечення Arduino, його завантаження та реалізація на пристрої.

Описані характеристики, переваги та недоліки майже усієї комплектації приладу, з приведеними зображеннями.

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		51

ВИСНОВКИ

У першому розділі дипломної роботи було досліджено теоретичні основи безконтактного вимірювання температури, завдяки чому з'явилась можливість визначити сфери застосування пірометрів, загальний принцип дії та встановити відмінності у роботі різних типів безконтактних вимірювачів температури.

У другому розділі здійснено моделювання оптичної системи та був проведений розрахунок її основних параметрів, що дало змогу встановити її оптимальну ефективність. Окрім цього, було побудовано електричну схему пристрою безконтактного вимірювання температури, що наддало можливість в подальшому сконструювати його робочий макет.

У межах третього розділу був проведений підбір елементів конструкції приладу, проаналізовано основні технічні характеристики, визначено їх переваги. Було описано управління процесом вимірювання температури пірометром, дано характеристику його функціоналу та можливостей.

Отримані результати у даному дипломному проєкті надали змогу розробити модель робочого пристрою та дали поштовх подальшій оптимізації роботи пристрою. Використання наведених елементів дозволило зробити досить просту та недорогу конструкцію пірометру, забезпечивши його при цьому достатньою точністю вимірювання.

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		52

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Электроника и вычислительная техника. Вычислительная техника. Микроконтроллеры и микропроцессоры. URL: http://digitrode.ru/computing-devices/mcu_cpu/2637-infrakrasnyy-termometr-na-arduino-i-mlx90614-svoimi-rukami.html.
2. Arduino Laser Infrared Thermometer URL: <https://www.instructables.com/Arduino-Laser-Infrared-Thermometer/>.
3. Getting Started with Adafruit IO URL: <https://learn.adafruit.com/welcome-to-adafruit-io/getting-started-with-adafruit-io>.
4. Бесконтактный термометр с передачей данных в облако URL: <https://usamodelkina.ru/18804-beskontaktnyj-termometr-s-iot-tehnologiej.html>.
5. The open-source Arduino Software (IDE) URL: <https://www.arduino.cc/en/software>.
6. Сучасні інфрачервоні пірометри – вимірювання температури без дотику URL: <https://simvolt.ua/suchasn-nfrachervon-prometri-vimryuvannya-temperaturi-bez-dotiku.html/> (дата звернення 10.05.2021).
7. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії. Пірометр. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%96%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80> (дата звернення 10.05.2021).
8. «Розумні» системи дезінфекції та контролю температури URL: <https://www.elko.ua/novosti2/sistemy-dezinfekci> (дата звернення 04.03.2021).
9. ОПТИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ТЕМПЕРАТУРИ URL: <https://uadoc.zavantag.com/text/1420/index-7.html> (дата звернення 10.05.2021).
10. Бесконтактний інфрачервоний термосканер (сканер температури) та термометр виробництва компанії Укринтех. <https://ukrintech.com.ua/ua/bezkontaktni-termometry/> (10.05.2021).
11. Куприяновский В.П., Намиот Д.Е., Синягов С.А. Кібер фізичні системи як основа цифрової економіки. *International Journal of Open Information Technologies*. 2016. vol. 4, no. 2., С. 18 – 26. ISSN: 2307-8162

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		53

12. Добрынин А. П. и др. Цифровая экономика – различные пути к эффективному применению технологий (BIM, PLM, CAD, IOT, Smart City, BIG DATA и другие). *International Journal of Open Information Technologies*. 2016. Т. 4. 1. С. 4-11.

13. Алигулиев Р.М., Имамвердиев Я.Н., Сухостат Л.В.. Киберфизические системы: основные понятия и вопросы обеспечения безопасности. *Информационные технологии*. 2017. Т.23, №7. С. 517-528.

14. Ронжин А. Л., Басов О. О., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Концептуальная и формальная модели синтеза киберфизических систем и интеллектуальных пространств. *Изв. вузов. Приборостроение*. 2016. Т. 59. № 11. С. 897—905.

15. Петин В.А. Arduino и Raspberry Pi в проектах Internet of Things. СПб. БХВ-Петербург. 2016. 320 с.

16. J. Lee, V. Bagheri, H.A. Kao, «A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems». *Manufacturing Letters*. 2015. Vol. 3, pp. 18-23,

17. Li B. S. X., Wan B., Wang C., Zhou X., Chen X. Definitions of predictability for cyber physical systems. *J. of Systems Architecture*. 2016. DOI: 10.1016/j.sysarc.2016.01.007.

18. Arduino Laser Infrared Thermometer URL: <https://www.instructables.com/Arduino-Laser-Infrared-Thermometer/> (10.05.2021).

19. Галаган Р.М., Муравьев А.В., Томашук А.С., Модель восстановления серии изображений из смазанного изображения для решения задачи высокоточного измерения диаметра и температуры излучающих объектов. *Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій* (матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції). 2019. С. 169-171.

20. Автоматика для запобігання вибухам і пожежам: посіб. О.А. Дерев'яноко та інш. Харків. 2016. 279 с.

21. Поскачей А.А., Чубаров Е.П., Энергоатомиздат. *Опτικο-электронные системы измерения температуры*. 2013. 246 с.

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		54

22. Неделько А.Ю. Преимущества и недостатки бесконтактного измерения температуры. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2015. № 7. С. 29-30.
23. Законы теплового излучения. Теплонадзор. – URL: <https://teplonadzor.ru/laws/>
24. Стадник В.Й. Оптика: навч. посібн. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка. 2018. 360 с.
25. Бабич О.О. Визначення бесконтактних методів вимірювання температури нагрітих тіл. *Системи озброєння і військова техніка*. 2011. № 1. С. 69-71.
26. Александрова Н.М. Методи вимірювання температури нагрітих тіл. *Системи озброєння і військова техніка*. 2014. № 3. С. 81-89.
27. Назаренко Л.А. Фізичні основи джерел світла: навч. посіб. Харків: ХНАМГ, 2019. 206 с.
28. Брао І. Аналіз проблематики та перспективних напрямів розвитку бесконтактної термометрії. *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2014. Вип. 75. С. 40-44.
29. Назаренко Л.А. Фізичні основи джерел світла: навч. посіб. Харків: ХНАМГ, 2016. 209 с.
30. Скорик Б.И. К вопросу применения бесконтактных методов измерения температуры нагретых. *Системи оброб. інформації*. 2017. Вип. 9. С. 129-132.
31. Андреев А.Н. Оптические измерения. А.Н. Андреев, Е.В. Гаврилов, Г.Г. Ишанин и др.: Учеб. пособие. М.: Университетская книга: Логос, 2012. 416 с.
32. Дембовский В.В. Технологические измерения и приборы в металлургии: учебное пособие. СПб.: СЗТУ, 2004. 70 с.
33. Поліщук В.М. Фотометрія: конспект лекцій. Харків: ХНАМГ, 2014. 147 с.

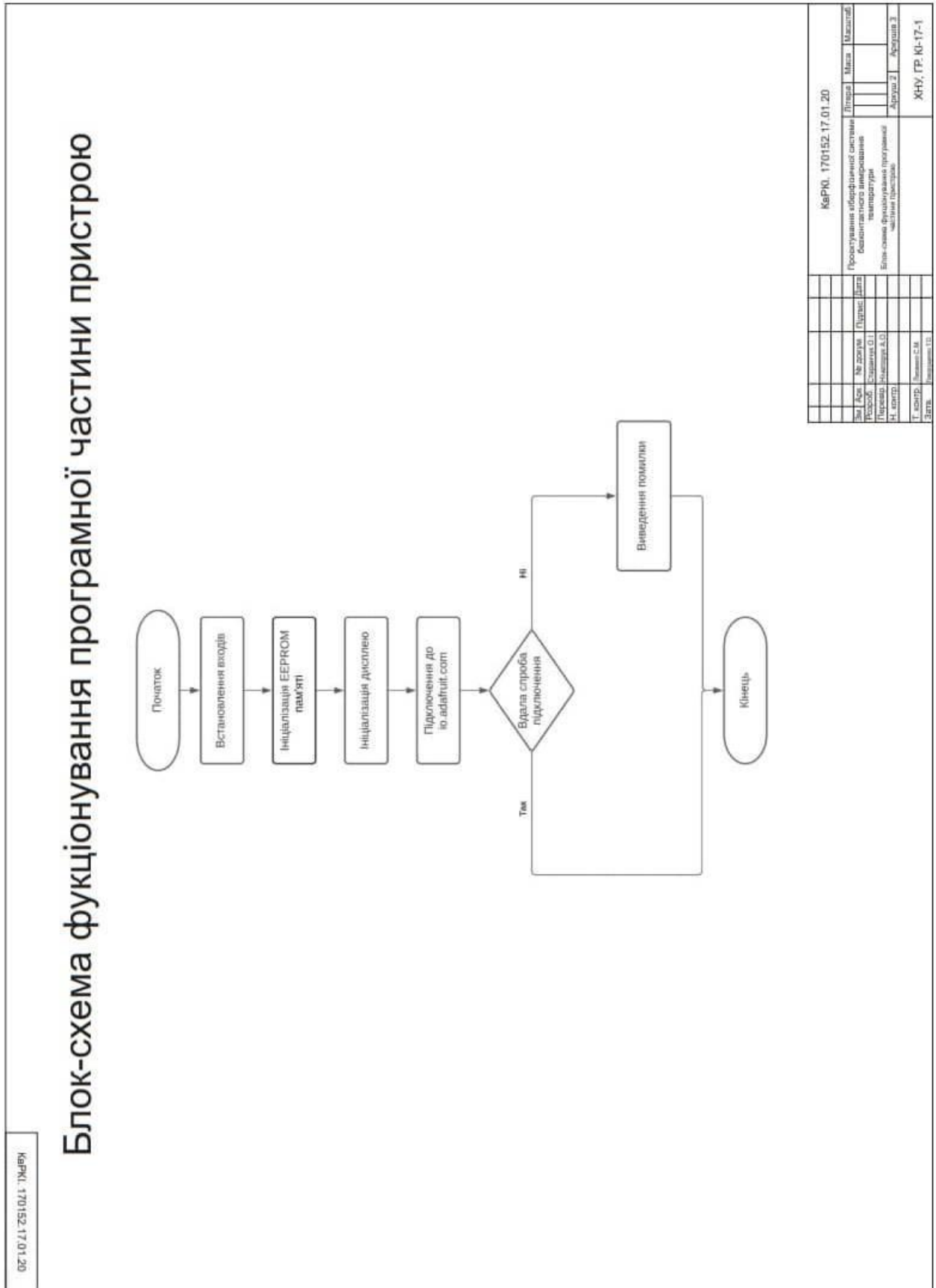
					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		55

34. Чистофорова Н.В. Технические измерения и приборы. Часть 1. *Измерение теплоэнергетических параметров: учеб. Пособ.* Ангарск, АГТА, 2012. 200 с.
35. Поліщук В.М. Фотометрія: конспект лекцій. Харків: ХНАМГ, 2012. 147 с.
36. Фрунзе А.В. Пирометры спектрального отношения: преимущества, недостатки и пути их устранения. *Фотоника*, 2009. № 4 С.32.
37. Протасов А.Г. Многоканальный стенд для контроля температуры. *Вісник НТУУ “КПІ”. Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ*, 2015. № 49(1) . С. 61-68.
38. Protasov A. Application of FEMLAB Software for Simulation of the Thermal Method for Nondestructive Testing. *American Society for Engineering Education. Annual conference and Exposition.* . June 14-17 2014. Austin, Texas, USA, pp. 182-191.
39. Морозов М.А. *Современная лазерная дальнометрия. Новые направления развития приборостроения: материалы 9-й международной научнотехнической конференции молодых ученых и студентов, 20-22 апреля.* Минск, Беларусь, 2016. С. 38.
40. Муравьев А.В. Основные тенденции, проблемы и перспективы развития дисплейной наноэлектроники. *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.

					КВРКІ. 170152.17.01.20 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		56

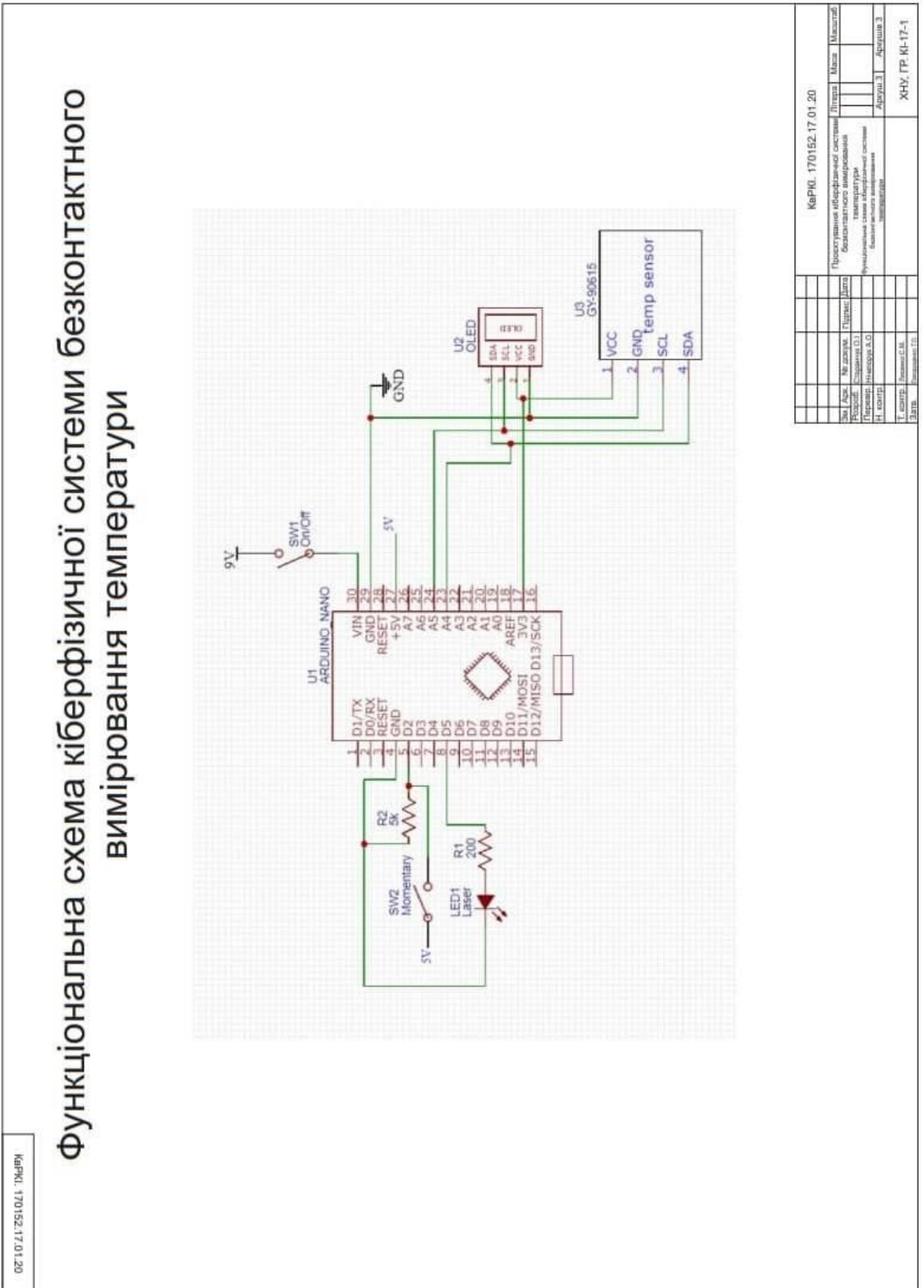
Додаток Б
(Обов'язковий)

Копія креслення «Блок-схема функціонування програмної частини пристрою»



Додаток В (Обов'язковий)

Копія креслення «Функціональна схема кіберфізичної системи безконтактного»



Картка: 170152.17.01.20		Літера	Масштаб
№ з/к	№ докум.	Група:	Дата
Розроб.	Складено	D.1	
Перевір.	Нижньою А.О.	Функціональна	Температура
Н. контр.		Безконтактна система	Вимірювання
		Вимірювання	Аркуш 3
Т. зам.	Нижньою С.М.		ХНУ, ГР. КІ-17-1
Затв.	Розробник Т.С.		

вимірювання температури»

Додаток Г

(Обов'язковий)

«Код програмної частини пристрою»

```
#include "AdafruitIO_WiFi.h"
#include
#include "Arduino.h"

#define IO_USERNAME "Your Adafruit IO Username"
#define IO_KEY "Your Adafruit IO Key"
#define WIFI_SSID "your wifi ssid"
#define WIFI_PASS "your wifi password"
#define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
#define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels
#define OLED_RESET -1 // Reset pin # (or -1 if sharing Arduino reset pin)

#define MENU D5
#define UP D6
#define DOWN D7
#define MEASURE D4

int menu = 0;
int celcius = 0;
int wifi = 1;
int body_temp = 1;
int patient_id = 1;
int display_on = 1;

Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET); //Declaring the
display name (display)
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
AdafruitIO_WiFi io(IO_USERNAME, IO_KEY, WIFI_SSID, WIFI_PASS);
//AdafruitIO_Feed *temperature = io.feed("temperature");

void setup() {

  pinMode(MENU, INPUT_PULLUP);
  pinMode(UP, INPUT_PULLUP);
  pinMode(DOWN, INPUT_PULLUP);
  pinMode(MEASURE, INPUT_PULLUP);

  /*****Read Configuration fromEEPROM*****/
  EEPROM.begin(512); //Initialize EEPROM
  celcius = EEPROM.read(0);
  wifi = EEPROM.read(1);
  body_temp = EEPROM.read(2);

  mlx.begin();
  display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C); //Start the OLED display

  home_page();

  Serial.begin(9600);
  delay(10000);
  // connect to io.adafruit.com
  if(wifi)connectAIO();
  if(io.status() &lt; AIO_CONNECTED){
    display.clearDisplay();
    display.setTextColor(WHITE);
    display.setTextSize(1);
    display.setFont();
    display.setCursor(0,20);
    display.println("No Internet Access!");
    display.display();
    delay(3000);
  }
}
```

```

// we are connected
Serial.println();
Serial.println(io.statusText());

}

long time_count = millis();
void loop() {

if(!digitalRead(MENU)){
  time_count = millis();
  delay(200);
  menu++;
  if(menu>3) {
    menu = 0;
    EEPROM.write(0, celcius);
    EEPROM.write(1, wifi);
    EEPROM.write(2, body_temp);
    EEPROM.commit();
  }
}

if(!digitalRead(UP)){
  time_count = millis();
  delay(200);
  if(menu==0) patient_id++;
  if(menu==1) celcius = 1;
  if(menu==2) wifi = 1;
  if(menu==3) body_temp = 1;
}

if(!digitalRead(DOWN)){
  time_count = millis();
  delay(200);
  if(menu==0) patient_id--;
  if(menu==1) celcius = 0;
  if(menu==2) wifi = 0;
  if(menu==3) body_temp = 0;
}

if(wifi){
  if(WiFi.status() != WL_CONNECTED){
    WiFi.forceSleepWake();
    delay(1);
    WiFi.mode(WIFI_STA); //
    WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASS); //
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
      delay(500);
      Serial.print(".");
    }
  }
}

if(!wifi){
  WiFi.disconnect(); //
  WiFi.mode(WIFI_OFF);//
  WiFi.forceSleepBegin();
  delay(100);
}

if(menu == 0) home_page();
else if(menu == 1) scale_setup_page();
else if(menu == 2) wifi_setup_page();
else if(menu == 3) temp_setup_page();

if(!digitalRead(MEASURE)){
  time_count = millis();
  display.ssd1306_command(SSD1306_DISPLAYON);
  display_on = 1;
  Serial.println("Button Press");
  delay(5000);
}

```

```

    if(wifi){
    if(io.status() >= AIO_CONNECTED){temp_write();
    display.clearDisplay();
    display.setTextColor(WHITE);
    display.setTextSize(1);
    display.setFont();
    display.setCursor(0,20);
    display.println("Data Sent!");
    display.display();
    delay(1500);
    }
    else{
    display.clearDisplay();
    display.setTextColor(WHITE);
    display.setTextSize(1);
    display.setFont();
    display.setCursor(0,10);
    display.println("No Internet access!");
    display.display();
    delay(1500);
    }
    }
    //delay(3000);
}

if((millis()>= time_count + 50000) && display_on == 1){
    display.ssd1306_command(SSD1306_DISPLAYOFF);
    display_on = 0;
}

//display.ssd1306_command(SSD1306_DISPLAYON);
//io.run();
//temperature->save(tempF);
//delay(3000);

}

void home_page(){
    float body_tempF = mlx.readObjectTempF()+ 4.5;
    float ambient_tempF = mlx.readAmbientTempF();
    float body_tempC = (body_tempF-32)/1.8;
    float ambient_tempC = (ambient_tempF-32)/1.8;
    display.clearDisplay();
    display.setTextColor(WHITE);
    display.setTextSize(1);
    display.setFont();
    display.setCursor(0,0);
    if(body_temp)
        display.println("Body Temperature");
    else
        display.println("Ambient Temp");
    display.setFont(&FreeSerif12pt7b);
    display.setCursor(20,40);
    if(body_temp && celcius) display.println(body_tempC,2);
    else if(body_temp && !celcius) display.println(body_tempF,2);
    else if(!body_temp && !celcius) display.println(ambient_tempF,2);
    else if(!body_temp && celcius) display.println(ambient_tempC,2);
    //display.println(mlx.readObjectTempF()+4.5,2);
    display.setCursor(80,40);
    display.drawCircle(85, 28, 3, WHITE);
    if(celcius) display.println(" C");
    else display.println(" F");
    display.setFont();
    display.setCursor(0,55);
    display.print("ID: P0");
    display.println(String(patient_id));
    display.setCursor(70,55);
    if(WiFi.status() == WL_CONNECTED) display.println("WiFi: ON");
    else display.println("WiFi: OFF");
    display.display();
}

```

```

void scale_setup_page(){
    display.clearDisplay();
    display.setTextColor(WHITE);
    display.setFont(&FreeSerif9pt7b);
    display.setCursor(0,13);
    display.println("Temp Scale");
    display.setFont(&FreeSerif12pt7b);
    display.drawCircle(65, 25, 3, WHITE);
    display.drawRect(35, 25, 15, 15, WHITE);
    display.setCursor(70,39);
    display.println("C");
    display.drawCircle(65, 45, 3, WHITE);
    display.drawRect(35, 45, 15, 15, WHITE);
    display.setCursor(70,60);
    display.println("F");
    if(celcius)
        display.fillRect(37, 27, 11, 11, INVERSE);
    else
        display.fillRect(37, 47, 11, 11, INVERSE);
    display.display();
}

void wifi_setup_page(){
    display.clearDisplay();
    display.setTextColor(WHITE);
    display.setFont(&FreeSerif9pt7b);
    display.setCursor(0,13);
    display.println("WiFi Setup");
    display.setFont(&FreeSerif12pt7b);
    display.drawRect(10, 25, 15, 15, WHITE);
    display.setCursor(40,39);
    display.println("Enable");
    display.drawRect(10, 45, 15, 15, WHITE);
    display.setCursor(40,60);
    display.println("Disable");
    if(wifi)
        display.fillRect(12, 27, 11, 11, INVERSE);
    else
        display.fillRect(12, 47, 11, 11, INVERSE);
    display.display();
}

void temp_setup_page(){
    display.clearDisplay();
    display.setTextColor(WHITE);
    display.setFont(&FreeSerif9pt7b);
    display.setCursor(0,13);
    display.println("Temperature");
    display.setFont(&FreeSerif12pt7b);
    display.drawRect(10, 25, 15, 15, WHITE);
    display.setCursor(40,39);
    display.println("Body");
    display.drawRect(10, 45, 15, 15, WHITE);
    display.setCursor(40,60);
    display.println("Ambient");
    if(body_temp)
        display.fillRect(12, 47, 11, 11, INVERSE);
    else
        display.fillRect(12, 27, 11, 11, INVERSE);
    display.display();
}

void power_saving_mode(){
    display.ssd1306_command(SSD1306_DISPLAYOFF);
    //wifi_station_disconnect();
    wifi_set_opmode(NULL_MODE);
    wifi_fpm_set_sleep_type(LIGHT_SLEEP_T);
    wifi_fpm_open(); // Enables force sleep
    //wifi_fpm_set_wakeup_cb(callback);
}

```

```

    gpio_pin_wakeup_enable(GPIO_ID_PIN(MEASURE), GPIO_PIN_INTR_LOLEVEL); // GPIO_ID_PIN(2)
    corresponds to GPIO2 on ESP8266-01 , GPIO_PIN_INTR_LOLEVEL for a logic low, can also do
    other interrupts, see gpio.h above
    wifi_fpm_do_sleep(0xFFFFFFFF); // Sleep for longest possible time
}

void callback() {
    display.ssd1306_command(SSD1306_DISPLAYON);
    Serial1.println("Callback");
    Serial.flush();
}

void temp_write(){
    // set up deepsleep feed
    String str = "P0";
    str += patient_id;
    int str_len = str.length() + 1;
    char char_array[str_len];
    str.toCharArray(char_array, str_len);
    AdafruitIO_Feed *temperature = io.feed(char_array);
    Serial.println("sending temperature to feed");
    float body_tempF = mlx.readObjectTempF() + 4.5;
    float ambient_tempF = mlx.readAmbientTempF();
    float body_tempC = (body_tempF - 32) / 1.8;
    float ambient_tempC = (ambient_tempF - 32) / 1.8;

    if(body_temp && celcius) temperature->save(body_tempC, 2);
    else if(body_temp && !celcius) temperature->save(body_tempF, 2);
    else if(!body_temp && !celcius) temperature->save(ambient_tempF, 2);
    else if(!body_temp && celcius) temperature->save(ambient_tempC, 2);
    // send data to deepsleep feed
    //temperature->save(temp);
    // write data to AIO
    io.run();
}

void connectAIO() {
    Serial.println("Connecting to Adafruit IO...");
    io.connect();
    long entering_time = millis();
    // wait for a connection
    while ((io.status() < AIO_CONNECTED) || (millis() > entering_time + 15000)) {
        Serial.print(".");
        delay(500);
    }

    // we are connected
    Serial.println();
    Serial.println(io.statusText());
}

```

Ім'я користувача:
Кафедра КІ

ID перевірки:
1008357440

Дата перевірки:
25.06.2021 09:25:05 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
29.06.2021 06:48:49 EEST

ID користувача:
100005591

Назва документа: Старанчук_Проектування кіберфізичної системи безконтактного вимірювання температури

Кількість сторінок: 59 Кількість слів: 8569 Кількість символів: 68281 Розмір файлу: 2.95 MB ID файлу: 1008419946

11.3% Схожість

Найбільша схожість: 9.63% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1008248421)

1.31% Джерела з Інтернету 26 Сторінка 61

10.2% Джерела з Бібліотеки 79 Сторінка 61

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнено

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнено

85.2% Вилучень

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

64.3% Вилучення з Інтернету 2 Сторінка 62

84.8% Вилученого тексту з Бібліотеки 1 Сторінка 62

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 18

Thu Jun 24 08:58:37 EEST 2021, Медзатий Дмитро Миколайович, Хмельницький національний університет, ХНУ

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 1.0%Словари проверки: en_US, ru_RU, ua_UA. **Ошибок в документах: 11%**

ID: 95297 Название: Просктування кіберфізичної системи безконтактного вимірювання температури Добавлено в БД: 2021-06-24 Авторы: Старанчук О.І. Руководители: Нічепорук А.О. Консультанты: Оponentы:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	51536	423	488 (1%)	10 (2%)

Источник плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы

Завідувачу кафедри КІСП
д-ру техн.наук, проф. Говорущенко Т. О.

Старанчук О.І.

ПІБ здобувача вищої освіти

ФПКТС, 4 курсу, групи КІ-17-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

дата



підпис

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА СИСТЕМНОГО ПРОГРАМУВАННЯ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Проектування кіберфізичної системи безконтактного вимірювання температури

Автор: Старанчук Остап Ігорович

Спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Нічепорук Андрій Олександрович, доцент кафедри КІСП

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укріття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні;
- 3) серед запозичень знаходяться загальновідомі терміни, скорочення та визначення.
- 4) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів з україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 17.7% і адресується до 545 першоджерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІСП

А. О. Нічепорук

С. М. Лисенко

Т. О. Говорущенко