

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ

Група СІ-23-1К

Петро Юрчишин

2025

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Інститут інформаційних технологій  
Кафедра інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем

Юрчишин Петро Русланович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 004:631

(індекс)

## **БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

Розробка програмного забезпечення для люксиметра з функцією  
вимірювання індексу УФ-випромінювання.

(назва роботи)

Системна інженерія – Інтернет речей


(назва освітньої програми)

174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва спеціальності)

**Робота містить результати власних досліджень, використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне  
джерело:**

Здобувач освітнього ступеня \_\_\_\_\_ П. Р. Юрчишин  
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник  \_\_\_\_\_ Малько Олександр Григорович, доц., к.т.н.  
(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

**Допущено до захисту**  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ **Заміховський Л.М.**  
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Інститут Інформаційних технологій

Кафедра Інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 126-Інформаційні системи та технології

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ІТТС д.т.н., проф.**

**Л.М.Заміховський**

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 року

## **ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Юрчишину Петру Руслановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи^ Розробка програмного забезпечення для люксиметра з функцією вимірювання індексу УФ-випромінювання

керівник роботи Малько Олександр Григорович, доц., к.т.н.,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 16 ” травня \_\_\_\_\_ 2025 року № 299/7

2. Строк подання студентом роботи

3. Вихідні дані до роботи Матеріали та результати отримані під час проходження переддипломної практики, алгоритм програмного забезпечення, методичні вказівки.

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

Порівняльний аналіз існуючих систем моніторингу

Вибір програмних технологій та середовища розробки

Розробка програмної частини

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

Структурна схема

Функціональна схема

Результати розробки

6. Дата видачі завдання 15.03.2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Відмітка про виконання (підпис керівника)
Формулювання мети, завдань та структури бакалаврської роботи	21.03.2025	<b>Виконав</b>
Збір та аналіз літературних джерел з теми роботи	31.03.2025	<b>Виконав</b>
Вибір компонентів, розробка структурної та принципової схем пристрою	07.04.2025	<b>Виконав</b>
Розроблення програмного забезпечення та алгоритму роботи пристрою	14.05.2025	<b>Виконав</b>
Монтаж макету пристрою, налагодження та тестування	21.05.2025	<b>Виконав</b>
Проведення експериментальних досліджень та аналіз результатів	31.05.2025	<b>Виконав</b>
Оформлення пояснювальної записки, графічної частини та підготовка до захисту	02.06.2025	<b>Виконав</b>

Студент

Керівник проєкту

\_\_\_\_\_  
(підпис)



(підпис)

Юрчишин П.Р.

(прізвище та ініціали)

Малько О.Г.

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота на тему: «Розробка автоматизованого вимірювального пристрою з цифровою індикацією». Містить 60 сторінок, 8 таблиць, 15 рисунків. Перелік посилань налічує 14 найменувань.

Метою роботи є аналіз, обґрунтування та створення автоматизованого пристрою для вимірювання фізичних параметрів із цифровою індикацією.

Об'єктом дослідження є мікропроцесорна система збору, обробки та виводу інформації про фізичні параметри середовища.

Методи дослідження. У процесі виконання бакалаврської роботи була використана сукупність загальних і спеціальних методів: аналітичний, абстрактно-логічний, причинно-наслідковий аналіз, моделювання, структурно-функціональне проектування, програмування, експериментальне тестування тощо.

Результати роботи. За результатами дослідження створено макет пристрою з цифровим дисплеєм, що забезпечує вимірювання параметрів середовища. Реалізовано алгоритм обробки даних, проведено тестування точності та енергоспоживання. Передбачено можливості модернізації приладу.

Рекомендації щодо використання результатів роботи. Результати можуть бути використані в навчальних закладах, лабораторіях, побутових чи польових умовах для моніторингу фізичних величин, або стати основою для подальшого розширення функціоналу.

Результати впровадження досліджень. Пристрій виготовлено, протестовано, працездатність підтверджено керівником роботи. Розробка може бути впроваджена як у приватному, так і в навчально-науковому середовищі.

Ключові слова: мікропроцесорна система, вимірювання, параметри, індикація, енергоспоживання, автоматизація.

					<b>КРБ.СІ 17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

## ABSTRACT

Bachelor's thesis on the topic: "Development of an Automated Measuring Device with Digital Indication." The work contains 60 pages, 8 tables, 15 figures. The list of references includes 14 sources.

Objective of the work is to analyze, justify, and develop an automated device for measuring physical parameters with digital display.

Object of research is a microprocessor-based system for collecting, processing, and displaying information about environmental physical parameters.

Research methods. During the thesis development, a set of general and specialized methods was used: analytical, abstract-logical, cause-and-effect analysis, modeling, structural-functional design, programming, experimental testing, etc.

Results of the work. A prototype of the device with a digital display was created, capable of measuring environmental parameters. An algorithm for data processing was implemented, and testing for accuracy and power consumption was conducted. Further expansion and improvement options for the device were proposed.

Recommendations for use. The results of the work can be used in educational institutions, laboratories, or field conditions for monitoring physical values, and can serve as a basis for the further development of similar systems.

Implementation results. The device has been assembled and tested; its functionality has been confirmed by the project supervisor. The developed solution can be applied both in private use and in academic or research environments.

**KEYWORDS:** MICROPROCTSSOR SYSTEM, MEASUREMENT, PARAMETERS, INDICATION, ENERGY CONSUMPTION, AUTOMATION.

					<i>КРБ.СІ- 17.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						5
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		


## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ADC—(Analog-to-Digital Converter — аналого-цифровий перетворювач  
BH1750—Цифровий датчик освітленості  
ML8511—Аналоговий сенсор ультрафіолетового випромінювання  
OLED—(Organic Light Emitting Diode) — органічний світлодіодний дисплей  
LCD—(Liquid Crystal Display) — рідкокристалічний дисплей  
UV—(Ultraviolet) — ультрафіолетове випромінювання  
UV Index—УФ-індекс — показник інтенсивності УФ-випромінювання згідно з  
BOO3  
VCC—(Voltage Common Collector) — позитивна шина живлення  
GND—(Ground) — загальний провід, «земля»  
PWM—(Pulse Width Modulation) — широтно-імпульсна модуляція  
C++—Мова програмування, що використовується в середовищі Arduino IDE  
Arduino IDE—Інтегроване середовище розробки для програмування Arduino  
 $\mu$ C (або MCU)—(Microcontroller Unit) — мікроконтролер  
мА—Міліампер — одиниця електричного струму  
лк—Люкс — одиниця вимірювання освітленості  
мВт/см<sup>2</sup>—Міліват на квадратний сантиметр — одиниця інтенсивності УФ-  
випромінювання  
EEPROM—(Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) —  
енергонезалежна пам'ять  
I<sup>2</sup>C—(Inter-Integrated Circuit) — двопровідний протокол передачі даних між  
модулями  
UART—(Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) — послідовний інтерфейс  
зв'язку

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Зміст

Вступ.....	9
1 Аналіз відомих методів і засобів для вимірювання освітленості та інтенсивності ультрафіолетового випромінювання.....	12
1.1 Методи і засоби для вимірювання освітленості.....	12
1.2 Методи і засоби для вимірювання індексу ультрафіолетового випромінювання.....	13
1.3 Використання платформа ARDUINO для вимірювання освітленості та інтенсивності ультрафіолетового випромінювання.....	16
1.4 Порівняльний аналіз існуючих приладів для вимірювання освітленості та ультрафіолетового випромінювання.....	17
2 Розроблення приладу для вимірювання освітленості та інтенсивності УФ-випромінювання.....	21
2.1 Розроблення структурної схеми приладу.....	21
2.2 Розроблення і опис конструкції приладу .....	22
2.3 Опис роботи електричної схеми приладу .....	27
2.4 Розроблення методики проведення вимірювання розробленим приладом....	28
2.5 Опис алгоритму роботи приладу.....	28
3 Метрологічний аналіз розробленого технічного засобу.....	37
3.1 Загальний аналіз видів похибок.....	37
3.2 Аналіз похибки розробленого приладу.....	45

					<i>КРБ.СІ-17.00.00.000 ПЗ</i>						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Розробка програмного забезпечення для люксиметра з функцією вимірювання індексу</i>			Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.		Юрчишин П.Р.								6	60
Перевір.		Малько О.Г.									
Реценз.											
Н. Контр.		Возний А.В.								<i>ІФНТУНГ СІ-23-1К</i>	
Затверд.		Заміховський Л.М.									

4 Використання Arduino IDE для програмування плати Arduino .....	46
4.1 Огляд Arduino IDE.....	46
4.2 Інсталяція та налаштування Arduino IDE.....	46
4.3 Структура проекту Arduino в Arduino IDE.....	47
4.4 Написання та компіляція програмного коду .....	47
4.5 Завантаження програми на плату Arduino .....	47
4.6 Налагодження та моніторинг.....	48
4.7 Використання бібліотек .....	48
Висновок.....	49
Перелік використаних джерел .....	50
Додатки.....	31

## Вступ

Вимірювання освітленості є актуальною темою в сучасному світі, де освітлення впливає на наше життя і добробут у багатьох аспектах. Освітленість має велике значення в різних сферах, включаючи промисловість, офісні приміщення, громадські простори, освітні заклади та житлові приміщення.

Оптимальний рівень освітленості впливає на наші фізичне та психологічне здоров'я, продуктивність, концентрацію та настрій. Недостатня освітленість може спричинити зниження ефективності роботи, збільшення втоми, погіршення зорової функції, а також впливати на наш біологічний ритм і сон. З іншого боку, надмірна освітленість може бути стресовою для очей, спричиняти незручності та погіршувати якість життя.

Враховуючи ці фактори, точне і систематичне вимірювання освітленості стає важливим завданням. Воно дозволяє оцінити рівень освітленості в різних просторах, визначити відповідність до нормативних вимог та стандартів, а також виявити проблемні зони, де необхідні корекційні заходи.

Більше того, вимірювання освітленості є важливим етапом у проектуванні та впровадженні освітлювальних систем, які енергоефективні та дбають про здоров'я та комфорт користувачів. Інженери, архітектори, дизайнери та інші фахівці повинні мати об'єктивні дані про освітленість для прийняття правильних рішень щодо розташування світлових джерел, вибору світильників, налаштування диммерів або автоматичних систем керування освітленням.

Однак, незважаючи на важливість вимірювання освітленості, багато людей і організацій не мають належних знань або доступу до необхідних засобів для проведення точних вимірювань. Це може призводити до неправильної оцінки рівня освітленості та недоцільного використання ресурсів.

Тому розробка і використання простих, доступних та надійних засобів для вимірювання освітленості є актуальним завданням. Такі засоби повинні бути

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

зручними у використанні, точними у вимірюваннях, а також відповідати вимогам стандартів та нормативів. Вони мають забезпечувати можливість швидко отримати об'єктивну інформацію про рівень освітленості та допомагати приймати обґрунтовані рішення щодо покращення освітлення.

Розробка нових методів та засобів вимірювання освітленості, а також використання сучасних технологій, таких як сенсори, датчики та програмні рішення, дозволить поліпшити точність, швидкість та доступність вимірювань. Крім того, такі розробки сприятимуть забезпеченню оптимальних умов освітлення в різних сферах, зменшенню енергоспоживання та покращенню якості життя користувачів.

Ультрафіолетове випромінювання є одним із ключових факторів, що впливають на наше здоров'я та добробут. Індекс ультрафіолетового випромінювання (UV-індекс) дозволяє оцінити рівень цього типу випромінювання в даний момент. Вимірювання UV-індексу стає все більш важливим для захисту нашої шкіри та попередження можливих проблем, пов'язаних з ультрафіолетовим випромінюванням.

Даний проект присвячений розробці та виготовленню люксиметра з функцією вимірювання індексу ультрафіолетового випромінювання на базі платформи Arduino. Метою цього проекту є створення пристрою, який забезпечить точне та зручне вимірювання рівня ультрафіолетового випромінювання та освітленості і надасть користувачеві важливі дані для здорового життя та захисту від негативного впливу ультрафіолету.

Використання платформи Arduino дозволяє розробити компактний та економічний пристрій, який може бути легко виготовлений та налаштований навіть некваліфікованими користувачами. Цей проект вимагає поєднання знань з областей електроніки, програмування та фізики ультрафіолетового випромінювання.

В даному проекті будуть розглянуті ключові аспекти розробки та виготовлення люксиметра з функцією вимірювання індексу ультрафіолетового випромінювання. Будуть розглянуті необхідні компоненти та схеми підключення,

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

програмне забезпечення для Arduino, а також калібрування та перевірка точності пристрою.

Цей проект відкриває широкі перспективи для застосування у різних сферах, таких як охорона здоров'я, туризм, спорт та багато інших. За допомогою розробленого люксиметра, користувачі матимуть змогу вимірювати рівень ультрафіолетового випромінювання у реальному часі та приймати необхідні заходи для запобігання можливим наслідкам.

Представлення інформації про індекс ультрафіолетового випромінювання на зручному та зрозумілому дисплеї дозволить користувачам з легкістю оцінювати ризики та приймати раціональні рішення щодо захисту від ультрафіолету. Наприклад, люди, які проводять багато часу на відкритому повітрі, зможуть вчасно нанести захисний крем з відповідним SPF, використовувати захисні рукавички, шапки або сонцезахисні окуляри.

Крім того, розроблений люксиметр може бути використаний в навчальних закладах та дослідницьких центрах для вивчення впливу ультрафіолетового випромінювання на рослинний та тваринний світ. Дослідники зможуть вимірювати і моніторити рівень UV-індексу в різних екосистемах, що дозволить краще зрозуміти його вплив та прийняти відповідні заходи для збереження біорізноманіття.

					<i>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>11</i>

# **1 Аналіз відомих методів і засобів для вимірювання освітленості та інтенсивності ультрафіолетового випромінювання**

## **1.1 Методи і засоби для вимірювання освітленості**

Аналіз існуючих методів і засобів вимірювання освітленості показує, що існує кілька поширених підходів і пристроїв, які використовуються для вимірювання освітленості в різних областях. Основні методи вимірювання включають:

-Фотодіоди та фототранзистори.

Ці електронні пристрої використовуються для вимірювання освітленості шляхом перетворення світлового потоку на електричний сигнал. Вони чутливі до світлового випромінювання в певному діапазоні довжин хвиль і можуть бути використані для вимірювання яскравості в приміщеннях або зовнішнього освітлення.

- Фотометричні сенсори.

Ці сенсори вимірюють освітленість, використовуючи спеціальні фільтри із врахуванням спектральної чутливості людського зору. Вони забезпечують більш точні результати, оскільки враховують спектральні особливості освітлення.

- Люксометри.

Ці пристрої є широко поширеними і використовуються для вимірювання освітленості в різних середовищах, включаючи будинки, офіси, промислові приміщення та зовнішнє освітлення. Вони базуються на принципі вимірювання світлового потоку з врахуванням спектральної чутливості людського зору та розраховані на отримання вимірювань в люксах.

- Сферичні фотометричні системи.

Ці системи використовуються для вимірювання розподілу освітленості у тривимірному просторі.

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Спектрорадіометри.

Ці пристрої вимірюють спектральний склад світлового потоку, враховуючи розподіл інтенсивності світла по різних довжинах хвиль. Вони дозволяють отримати детальну інформацію про спектральні компоненти освітлення, що може бути корисним для деяких специфічних досліджень та додаткового аналізу.

- Системи відеозйомки.

За допомогою відеокамер та алгоритмів обробки зображень можна виміряти освітленість на основі зображень, знятих в реальному часі. Цей метод може бути корисним для моніторингу освітленості на великих площах або в мобільних додатках, де вимірювання проводиться за допомогою смартфона або планшета.

- Мережеві системи вимірювання.

Ці системи використовують розподілені сенсори для вимірювання освітленості у багатьох точках приміщення або в просторі. Вимірювання проводяться одночасно за допомогою бездротового зв'язку або кабельної мережі, що дозволяє отримати більш детальну картину освітленості в об'єкті.

Кожен з цих методів має свої переваги та обмеження і може бути використаний у залежності від конкретних вимог і потреб. У контексті розробки люксиметра на базі платформи Arduino, можна обрати підхід, який найкраще відповідає поставленим цілям та обмеженням проекту.

## **1.2 Методи і засоби для вимірювання індексу ультрафіолетового випромінювання**

Аналіз методів та засобів для вимірювання індексу ультрафіолетового (УФ) випромінювання вказує на декілька поширених підходів, які використовуються у сучасних дослідженнях та промисловості.

Основні методи вимірювання індексу УФ включають:

- УФ-дозиметри.

					КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Ці пристрої вимірюють інтенсивність УФ-випромінювання та реєструють накопичену дозу ультрафіолету. Вони чутливі до різних довжин хвиль ультрафіолету та здатні оцінити експозицію шкіри або поверхонь у відношенні до рекомендованих безпечних рівнів УФ-випромінювання.

- УФ-спектрометри.

Ці прилади вимірюють спектральний склад УФ-випромінювання. Вони надають детальну інформацію про розподіл інтенсивності УФ-випромінювання по різних довжинах хвиль, що дозволяє визначити конкретні спектральні компоненти (наприклад, УФ-А, УФ-В) і встановити їх вплив на здоров'я людей та матеріалів.

- Фотореактивні індикатори.

Ці хімічні засоби використовуються для визначення наявності та інтенсивності УФ-випромінювання шляхом зміни кольору або інших властивостей. Вони можуть бути використані як показники УФ-випромінювання в певних зонах або діапазонах довжин хвиль.

-УФ-фотометри.

Ці пристрої використовуються для безпосереднього вимірювання інтенсивності УФ-випромінювання у визначених діапазонах довжин хвиль. Вони можуть бути налаштовані на конкретні діапазони УФ-випромінювання і забезпечувати точні вимірювання інтенсивності УФ-поля. Ці пристрої зазвичай використовуються в лабораторних умовах або спеціалізованих дослідницьких закладах.

- УФ-індексатори.

Це переносні пристрої, які вимірюють індекс ультрафіолетового випромінювання (УФ-індекс). Вони надають шкалу, яка вказує рівень УФ-випромінювання та рекомендує відповідні заходи захисту від УФ-променів.

-УФ-сенсори.

Ці мініатюрні сенсори можуть вимірювати інтенсивність УФ-випромінювання в реальному часі. Вони зазвичай мають вбудовані фотодіоди або

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фототранзистори, які реагують на УФ-промені та генерують відповідний електричний сигнал.

УФ-камери. Ці спеціальні камери здатні фіксувати УФ-випромінювання та візуалізувати його на зображеннях. Вони використовуються для дослідження та візуалізації УФ-випромінювання з метою аналізу його розподілу та впливу на об'єкти.

### **1.3 Використання платформа ARDUINO для вимірювання освітленості та інтенсивності ультрафіолетового випромінювання**

Кожен з описаних методів та засобів має свої переваги та обмеження, які варто враховувати при виборі підходящого методу для вимірювання індексу ультрафіолетового випромінювання для розробки люксиметра на базі платформи Arduino. Необхідно врахувати точність, діапазон вимірювання, спектральну чутливість, доступність та вартість пристроїв. Для багатьох досліджень та застосувань, особливо в контексті домашнього використання або персонального моніторингу, важливо мати доступні і прості в використанні пристрої.

З урахуванням цих факторів, платформа Arduino може бути привабливим варіантом для розробки люксиметра з функцією вимірювання індексу ультрафіолетового випромінювання. Arduino пропонує низьку вартість, широкий спектр модулів та сенсорів, легку програмованість та гнучкість, що дозволяє швидко розробити та налаштувати пристрій під конкретні потреби.

При розробці люксиметра на базі Arduino можна використовувати спеціалізовані УФ-сенсори або додаткові модулі, які підтримують вимірювання УФ-випромінювання. Ці модулі можуть бути легко інтегровані з платформою Arduino, дозволяючи вимірювати індекс УФ-випромінювання та здійснювати необхідні обчислення для його аналізу та відображення.

Все це робить проект розробки люксиметра з функцією вимірювання індексу ультрафіолетового випромінювання на базі платформи Arduino цікавим і

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перспективним завданням, яке може забезпечити простоту використання, доступність та ефективність вимірювання УФ-поля.

#### 1.4 Порівняльний аналіз існуючих приладів для вимірювання освітленості та ультрафіолетового випромінювання

У сучасному світі на ринку представлено велику кількість пристроїв для вимірювання освітленості та ультрафіолетового (УФ) випромінювання. Такі прилади використовуються в будівництві, медицині, екології, сільському господарстві, а також у сфері охорони праці. Метою цього підрозділу є аналіз найбільш поширених приладів та порівняння їх з розробленим пристроєм на базі Arduino Nano.

- Професійні люкметри.

Testo

540

Це компактний цифровий люкметр, що використовується для вимірювання рівня освітленості в офісах, виробничих приміщеннях, на складах тощо. Основні характеристики:

діапазон вимірювання: 0...99 999 лк;

точність:  $\pm 3\% + 10$  лк;

автоматичне збереження мін/макс значень;

вартість:  $\approx 80-100$  доларів.

Extech

LT300

Більш просунутий пристрій із розширеним функціоналом. Має широкий діапазон, функцію збереження даних і передачі на ПК.

діапазон: до 400 000 лк;

— вартість:  $\approx 150-200$  доларів.

- Професійні УФ-метри

Solarmeter

Model

6.5

UV

Index

Meter

Один з найвідоміших портативних УФ-метрів. Застосовується в дерматології, біології, косметології.

— Вимірює UV-індекс відповідно до стандартів ВООЗ;

					КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- швидке оновлення значень;
- вартість:  $\approx$  200–250 доларів.

Extech

UV505

Промисловий УФ-метр, який забезпечує точні вимірювання в діапазоні УФ-А та УФ-В.

- діапазон: 220...275 нм;
- вартість:  $\approx$  250–300 доларів.

-Недоліки готових рішень

Попри високу точність, готові пристрої мають низку недоліків:

— Висока вартість, що робить їх малодоступними для широкого кола користувачів.

— Закритість платформи — неможливість змінити програмне забезпечення або додати нові функції.

— Обмеженість виводу інформації — здебільшого відображення тільки числового значення без графіків, логів тощо.

-Переваги розробленого приладу на базі Arduino

Розроблений в рамках даного дипломного проекту прилад має низку переваг (таблиця 1.1)

Таблиця 1.1 – Аналіз функціональних можливостей пристроїв різного типу

Характеристика	Комерційні прилади	Розроблений прилад
Ціна	\$80–\$300	\$15–\$20
Гнучкість	Обмежена	Повна (відкрите ПЗ)
Оновлення ПЗ	Неможливе	Через Arduino IDE
Модульність	Закрита система	Можна додати Wi-Fi, SD-карту тощо
Навчальний ефект	Відсутній	Підходить для освіти

Таким чином, хоча готові люксметри та УФ-метри мають високу точність і надійність, розроблений пристрій є економічно вигідним, відкритим для модифікацій і придатним для персонального або навчального використання.

## 1.5 Моделювання роботи приладу

### -Теоретичні основи моделювання

Розроблений прилад ґрунтується на перетворенні фізичних величин — освітленості та ультрафіолетового випромінювання — у цифрові сигнали, які обробляються мікроконтролером Arduino Nano. Для моделювання роботи системи необхідно враховувати такі ключові залежності:

— Освітленість (E) вимірюється у люксах (лк) та прямо зчитується з цифрового інтерфейсу сенсора BH1750.

— УФ-інтенсивність ( $I_{UV}$ ) визначається на основі аналогового сигналу від сенсора ML8511, який генерує напругу, пропорційну потужності УФ-випромінювання.

### -Перетворення аналогового сигналу на значення UV-інтенсивності

Сенсор ML8511 має аналоговий вихід, напруга з якого коливається в межах від  $\approx 0.99$  В (без УФ) до  $\approx 2.8$  В (максимальна інтенсивність). Перетворення сигналу здійснюється за формулою:

$$I_{UV} = (U_{out} - U_0) K_{UV} = \frac{(U_{\text{out}} - U_0)}{K} I_{UV} = K(U_{out} - U_0)$$

де:

—  $I_{UV}$  — інтенсивність УФ-випромінювання, мВт/см<sup>2</sup>

—  $U_{out}$  — вихідна напруга з ML8511

—  $U_0 \approx 1.0$  В — базове значення без випромінювання

—  $K \approx 0.12$  — коефіцієнт чутливості сенсора

У коді використовується функція `mapfloat`, яка реалізує подібне перетворення для отримання значень у зручному масштабі (0...15 мВт/см<sup>2</sup>).

### -Графічна модель залежності

На рисунку нижче подано узагальнену графічну залежність між напругою на виході ML8511 та розрахованою інтенсивністю УФ-випромінювання:

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

## 1.6 – Графік залежності вихідної напруги ML8511 від UV-інтенсивності

(Можеш вставити графік у вигляді зображення Excel / Desmos / Geogebra: вісь X –  $U_{out}$  (0.9–2.8 В), вісь Y –  $I_{UV}$  (мВт/см<sup>2</sup>))

### Розрахунок UV-індексу

Для обчислення UV-індексу, використовується спрощене співвідношення:

$$UV_{index} = 310 \cdot I_{UV}^{25} \quad UV_{index} = \frac{310}{25} \cdot I_{UV}$$

Це емпірична формула, яка відображає стандарти, запропоновані Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ), де UV-індекс розраховується за спектрально зваженим впливом УФ-випромінювання на шкіру людини (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика готових та розроблених засобів вимірювання

$I_{UV}$ (мВт/см <sup>2</sup> )	UV-індекс	Ризик
0–1.0	0–3	Низький
1.0–2.5	4–6	Помірний
2.5–4.0	7–9	Високий
>4.0	10+	Дуже високий / екстремальний

### Алгоритмічна модель

Алгоритм роботи приладу базується на циклічному зчитуванні даних із сенсорів, обробці значень та оновленні виводу на OLED-дисплей. Система працює у трьох режимах:

- освітленість (BH1750);
- інтенсивність УФ (ML8511);
- UV-індекс (обчислений).

Алгоритм можна представити у вигляді блок-схеми (див. Додаток А) або таблиці переходів між режимами.

### Модель похибок та компенсацій

У реальних умовах модель роботи враховує похибки:

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

- температурна нестабільність;
- кут падіння світла;
- перешкоди від інших джерел.

Можна реалізувати просту температурну компенсацію (в майбутньому, з сенсором температури) або фільтрацію шуму через усереднення показів (moving average).

					<i>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

## 2 Розроблення приладу для вимірювання освітленості та інтенсивності УФ-випромінювання

### 2.1 Розроблення структурної схеми приладу

Для вимірювання освітленості та інтенсивності УФ-випромінювання було розроблено прилад, структурна схема якого зображена на рисунку 2.1

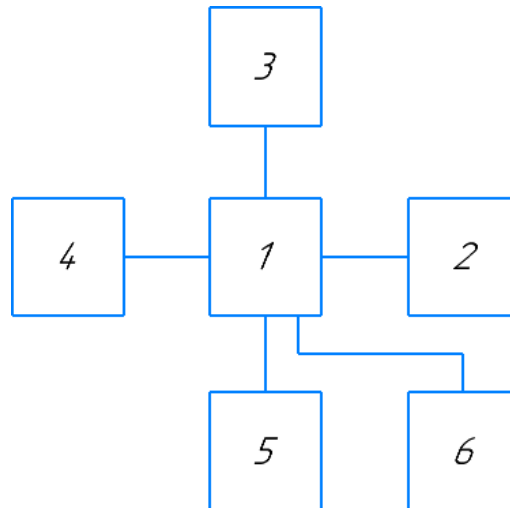


Рисунок 2.1 – Структурна схема розробленого приладу

Структурна схема містить наступні блоки і вузли:

– Плата Arduino Nano яка складається з мікроконтролера ATmega, а також елементів обв'язки для програмування та інтеграції з іншими пристроями.

1 – OLED дисплей;

2– Блок живлення;

3– Кнопки керування;

4– Датчик освітленості BH1750;

5– Датчик вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання ML8511.

## 2.2 Розроблення і опис конструкції приладу

Прилад для вимірювання освітленості та інтенсивності ультрафіолетового випромінювання складається з електронного блоку до складу якого входять: плата Arduino Nano, а також датчики інтенсивності УФ-випромінювання ML8511 та освітленості BH1750.

Для обробки сигналів з датчиків була вибрана плата Arduino Nano, яка складається з мікроконтролера ATmega328, а також елементів обв'язки для програмування та інтеграції з іншими пристроями.

Arduino Nano (рисунок 2.2) побудована на мікроконтролері ATmega328. Плата має 14 (з яких 6 можуть використовуватись як ШІМ виходи), 8 аналогових входів, кварцовий резонатор 16 МГц, USB конектор, роз'єм живлення (таблиця 2,1).



Рисунок 2.2 – Плата Arduino Nano

Таблиця 2.1 – Основні характеристики Arduino Nano

Мікроконтролер	Atmel ATmega168 або ATmega328
Робоча напруга	5В
Напруга живлення	7-12В
Цифрові входи/виходи	6-20В
Аналогові входи	14 (з яких 6 можуть використовуватись як ШІМ-виходи)
Максимальний струм одного виводу	8
Flash-пам'ять	40мА
SRAM	1 КБ (ATmega168) або 2 КБ (ATmega328)
EEPROM	512 байт (ATmega168) або 1 КБ (ATmega328)
Тактова частота	16 МГц
Розміри плати	1.85 см x 4.3 см

Датчик ультрафіолетового (УФ) випромінювання ML8511 є електронним пристроєм, призначеним для вимірювання рівня УФ-випромінювання. Принцип його дії базується на використанні фотодіода, який здатний конвертувати вхідне УФ-випромінювання в електричний сигнал.

Основним елементом датчика ML8511 є фотодіод, виготовлений із спеціального матеріалу, який має високу чутливість до УФ-випромінювання. Коли УФ-промені попадають на поверхню фотодіода, фотодіод засвічується і генерує електричний струм.

Датчик ML8511 також має вбудовану електронну схему для підсилення та обробки сигналу, отриманого від фотодіода. Ця схема перетворює слабкий струм, що генерується фотодіодом, на вимірювану величину, наприклад, напругу або сигнал, зрозумілий для мікроконтролера або іншого пристрою.

Крім того, датчик може мати деякі додаткові компоненти, такі як фільтри або лінзи, які захищають фотодіод від впливу небажаного світла або інших видів випромінювання. Це дозволяє датчику більш точно вимірювати лише УФ-випромінювання (рисинук 2.3).

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23



Рисунок 2.3 – Датчик УФ-випромінювання ML8511

Результатом роботи датчика ML8511 є вихідний сигнал, який залежить від рівня УФ-випромінювання, отриманого від фотодіода. Цей сигнал може бути поданий на вхід мікроконтролера або іншого пристрою для подальшого аналізу та обробки.

Для вимірювання освітленості вибрано датчик BH1750. Датчик освітленості BH1750 є електронним пристроєм, призначеним для вимірювання рівня освітленості в навколишньому середовищі. Він використовує принцип роботи фотодіода і деяких додаткових компонентів для отримання точних вимірів.

Основним елементом датчика BH1750 є фотодіод, який має високу чутливість до світла. Коли світло попадає на поверхню фотодіода, фотодіод генерує електричний струм, пропорційний інтенсивності освітленості. Однак, фотодіод сам по собі не здатний перетворити цей струм на вимірювальну величину, тому потрібні додаткові елементи.

У датчику BH1750 використовується спеціальна електронна схема, що включає оптичний фільтр, підсилювач, АЦП (аналого-цифровий перетворювач) та логіку обробки сигналу. Оптичний фільтр відокремлює бажане спектральне світло, допомагаючи уникнути впливу небажаного шуму або інших джерел світла.

Після проходження через оптичний фільтр сигнал посилюється підсилювачем для отримання більш високої амплітуди. Потім аналоговий сигнал перетворюється на цифровий за допомогою АЦП. АЦП вимірює напругу або струм, що представляє силу світла, і перетворює її на цифрове значення.

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Логіка обробки сигналу виконує додаткові операції, такі як калібрування, фільтрацію шуму, обчислення точного значення освітленості та можливість комунікації з мікроконтролером або іншими пристроями. Вихідні дані можуть бути представлені у вигляді цифрового сигналу або передані через інтерфейс, такий як I2C або SPI, для подальшої обробки і використання.

Особливістю датчика BH1750 є його висока роздільна здатність і широкий діапазон вимірювання освітленості. Він здатен точно вимірювати навіть низькі рівні освітленості, такі як слабе освітлення в темряві, а також високі рівні, такі як пряме сонячне світло (рисунок 2.4).

Рисунок 2.4 – Датчик освітленості BH1750



Для відображення інформації вибрано OLED дисплей 0.91 I2C 128x36. OLED (Organic Light-Emitting Diode) дисплей 0.91 I2C 128x32 є компактним екраном з органічним світлодіодним пікселем (OLED) технологією. Він має розмір 0.91 дюйма та роздільну здатність 128x32 пікселів. Крім того, цей OLED дисплей підтримує з'єднання по шині I2C (Inter-Integrated Circuit), що спрощує комунікацію з мікроконтролерами або іншими пристроями.

Основні параметри OLED дисплею 0.91 I2C 128x32:

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

– OLED технологія: Дисплей використовує OLED технологію, в якій кожний піксель самостійно видає світло. Це дозволяє отримати високий контраст та насиченість кольорів, а також забезпечує широкий кут огляду.

– Розмір: Дисплей має діагональ 0.91 дюйма, що робить його компактним та підходящим для використання в різних пристроях з обмеженим простором.

– Роздільна здатність: Дисплей має роздільну здатність 128x32 пікселів. Це означає, що на екрані можна відображати текст, графіку та інші візуальні елементи з високою чіткістю та деталізацією.

– I2C з'єднання: Для комунікації з OLED дисплеєм використовується шина I2C. Це протокол передачі даних, який дозволяє підключати дисплей до мікроконтролерів та інших пристроїв з використанням мінімальної кількості проводів.

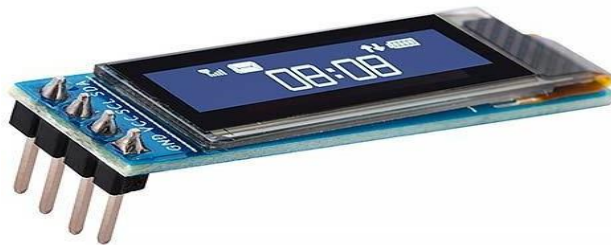
OLED дисплей складається з мікроскопічних органічних світлодіодних пікселів, які видають світло при проходженні електричного струму. Кожен піксель складається з трьох основних підпікселів - червоного (R), зеленого (G) та синього (B). Колір пікселя формується шляхом змішування цих трьох основних кольорів з різною інтенсивністю.

При передачі даних на дисплей через шину I2C, мікроконтролер надсилає команди та інформацію про відображення на кожен піксель. Дисплей приймає ці дані та відображає відповідний вміст на своєму екрані. Завдяки OLED технології, пікселі, які повинні бути вимкнені, просто не видають світла, що дозволяє досягти чорного кольору з високою контрастністю.

Оскільки OLED дисплей 0.91 I2C 128x32 не має підсвітки, він споживає менше енергії, особливо коли відображається темний вміст, та забезпечує більшу енергоефективність порівняно з іншими типами дисплеїв, такими як LCD (рисунки 2.5).

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд дисплею OLED 0.91 I2C 128x32



### 2.3 Опис роботи електричної схеми приладу

Живлення приладу здійснюється напругою постійного струму величиною 5V, яка подається із зовнішнього блоку живлення. Плата Arduino Nano оснащена стабілізаторами напруги, за допомогою яких понижується напруга для деяких датчиків до 5V та 3.3V.

Сигнали зі всіх встановлених датчиків поступають на плату Arduino Nano, за допомогою, якої відбувається обробка даних. Далі опрацьовані дані відображаються на LCD дисплеї, на якому ми можемо спостерігати за змінами значень отриманих з датчиків. Живлення датчиків відбувається через спеціальні порти на платі Arduino Nano.

### 2.4 Розроблення методики проведення вимірювання розробленим приладом

Розроблений прилад для вимірювання інтенсивності ультрафіолетового випромінювання та освітленості є переносним лабораторним приладом. Для виконання вимірювання освітленості необхідно розмістити прилад у

					КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимірювальному середовищі та подати на нього живлення від блоку живлення.

Направивши чутливий елемент вимірювального приладу в напрямку, де потрібно вимірювати освітлення на дисплеї висвітиться інформація, про освітленість.

Якщо потрібно виміряти інтенсивність ультрафіолетового випромінювання за допомогою кнопки «Вниз» можна перемкнути режим роботи приладу і на дисплеї висвітиться інформація про вимірне значення інтенсивності УФ-випромінювання. Якщо натиснути ще раз кнопку «Вниз» на дисплеї висвітить обчислений індекс ультрафіолетового випромінювання. Повернутись до попередніх режимів вимірювання можна натиснувши кнопку «Вверх».

## 2.5 Опис алгоритму роботи приладу

Для отримання інформації з датчиків та відображення цієї інформації на дисплеї було написано програму на мові С++, яка працює за наступним алгоритмом.

Спочатку ініціалізуються необхідні бібліотеки та оголошуються необхідні змінні:

```
#include <BH1750.h>
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
Adafruit_SSD1306 display = Adafruit_SSD1306(128, 32, &Wire);
BH1750 lightMeter;
int UVOUT = A0; //Output from the sensor
int REF_3V3 = A1; //3.3V power on the Arduino board
int button_old = 1;
int KeyOutPin = 2;
int KeyInPin1 = 3;
```

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

```
int KeyInPin2 = 4;
```

```
int item = 1;
```

Після чого в блоці SETUP налаштовуються параметри, які необхідні для роботи OLED дисплею, налаштування кнопок та для отриманні інформації з датчиків:

```
void setup() {  
    // put your setup code here, to run once:  
    pinMode(UVOUT, INPUT);  
    pinMode(REF_3V3, INPUT);  
    Serial.begin(9600);  
    display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C); // Address 0x3C for 128x32  
    display.display();  
    delay(1000);  
    // Clear the buffer.  
    display.clearDisplay();  
    display.display();  
    // text display tests  
    display.setTextSize(2);  
    display.setTextColor(WHITE);  
    // Initialize the I2C bus (BH1750 library doesn't do this automatically)  
    Wire.begin();  
    lightMeter.begin();  
    pinMode(KeyOutPin, OUTPUT);  
    pinMode(KeyInPin1, INPUT);  
    digitalWrite(KeyInPin1, HIGH);  
    pinMode(KeyInPin2, INPUT);    digitalWrite(KeyInPin2, HIGH);    }
```

Після чого запускається основний цикл програми LOOP, в якому вже присвоюється відповідним змінним отримані дані з датчиків, та виводяться на

					<i>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		29

дисплей, також написано умови спрацювання кнопок та відображення інформації на дисплей.

```
void loop() {  
    // put your main code here, to run repeatedly:  
    int uvLevel = averageAnalogRead(UVOUT);  
    int refLevel = averageAnalogRead(REF_3V3);  
    //Use the 3.3V power pin as a reference to get a very accurate output value from  
sensor  
    float outputVoltage = 3.3 / refLevel * uvLevel;  
    float uvIntensity = mapfloat(outputVoltage, 0.99, 2.8, 0.0, 15.0); //Convert the  
voltage to a UV intensity level  
    Serial.print("output: ");  
    Serial.print(refLevel);  
    Serial.print("ML8511 output: ");  
    Serial.print(uvLevel);  
    Serial.print(" / ML8511 voltage: ");  
    Serial.print(outputVoltage);  
    Serial.print(" / UV Intensity (mW/cm^2): ");  
    Serial.println(uvIntensity);  
    float lux = lightMeter.readLightLevel();  
    Serial.print("Light: ");  
    Serial.print(lux);  
    Serial.println(" lx");  
    if (item == 1) {  
        display.clearDisplay();  
        display.setCursor(0, 0);  
        display.print("Light: ");  
        display.setCursor(0, 16);  
        display.print(lux);  
    }  
}
```

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		30

```

    display.print(" Lx");
}
if (item == 2) {
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(2);
    display.setCursor(0, 0);
    display.print("UV:");
    display.setCursor(50, 0);
    if (uvIntensity<0) {uvIntensity=0;}
    display.print(uvIntensity);
    display.setCursor(0, 16);
    display.print(" mW/cm^2");
}

if (item == 3) {
    if (uvIntensity<0) {uvIntensity=0;}
    int uvIndex = (310*uvIntensity)/25;
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(2);
    display.setCursor(0, 0);
    display.print("UV index:");
    display.setCursor(30, 16);
    display.print(uvIndex);
    // display.setCursor(0, 16);
}

    display.display();
    delay(1000);

if ((digitalRead(KeyInPin1)==LOW)&&(button_old == 1))

```

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

```

    {
        item++;
    }
    button_old = digitalRead(KeyInPin1);

    if ((digitalRead(KeyInPin2)==LOW)&&(button_old == 1))
    {
        item--;
    }
    button_old = digitalRead(KeyInPin2);

    if(item > 3)
    {
        item = 1;
    }
    if(item < 1)
    {
        item = 3;
    }
}

```

Блок схема алгоритму роботи програми наведена в додатку А.

## 2.5 Аналіз енергоспоживання розробленого приладу

Енергоспоживання — критично важлива характеристика для будь-якого електронного пристрою, особливо якщо передбачено його використання в автономному або портативному режимі. Розглянемо споживання струму основними компонентами розробленого приладу, а також загальний розрахунок енергоспоживання та тривалість автономної роботи.

– Компоненти, що споживають енергію.

Основні компоненти приладу та їх типове споживання (таблиця 2.5):

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Таблиця 2.5 – Споживання струму модулями пристрою

1. Компонент	2. Приблизний струм споживання	3. Робоча напруга	4. Примітки
Arduino Nano (ATmega328)	~20–35 мА	5 В	У режимі роботи
Датчик освітленості BH1750	~0.12 мА	3.3–5 В	Через ІС
Датчик ультрафіолету ML8511	~0.20–0.40 мА	3.3 В	Через аналоговий вхід
OLED-дисплей 0.91" І2С	~10–15 мА	3.3–5 В	Залежить від яскравості
Кнопки, резистори та обв'язка	~1–2 мА	—	Мінімальний вплив

Сумарне середнє споживання при активному режимі роботи:

$$I_{\text{загальне}} \approx 20 + 0.12 + 0.3 + 12 + 1 = 33.4 \text{ мА}$$

– Розрахунок споживаної потужності

При живленні від USB або PowerBank з вихідною напругою 5 В:

$$P = U \cdot I = 5 \cdot 0.0334 \approx 0.167 \text{ Вт}$$

Це дуже низька потужність, що дозволяє використовувати недорогі мобільні джерела живлення.

– Варіанти автономного живлення

PowerBank 2000 мА·год

$$t = \frac{2000 \text{ мА} \cdot \text{год}}{33.4 \text{ мА}} \approx 59.8 \text{ годин}$$

$$t = \frac{2000 \text{ мА} \cdot \text{год}}{33.4 \text{ мА}} \approx 59.8 \text{ годин}$$

Тобто прилад може працювати майже 2.5 доби безперервно від стандартного PowerBank на 2000 мА·год.

Акумулятор 18650 на 3000 мА·год (через step-up до 5 В)

З урахуванням втрат на підвищуючому перетворювачі ( $\approx 80\%$  ефективність):

$$t = 3000 \cdot 0.833 \cdot 4 \approx 71.8 \text{ год} = \frac{3000 \cdot 0.8}{33.4} \approx \mathbf{71.8 \text{ год}}$$

— Зниження споживання енергії

Існує кілька способів оптимізації енергоспоживання:

— Використання режиму сну мікроконтролера (sleep mode) — можна зменшити споживання до 10 мА у неактивному стані.

— Оновлення дисплея лише при зміні значень — зменшення навантаження на OLED.

— Регулювання яскравості дисплея або заміна OLED на e-ink екран.

— Відключення невикористовуваних пінів Arduino.

Розроблений прилад є енергоефективним та здатен працювати у автономному режимі тривалий час. Використання енергоощадних компонентів, таких як BH1750 та OLED-дисплей, дозволяє підтримувати загальне споживання нижче 35 мА. Це відкриває широкі можливості для застосування приладу в польових умовах, експедиціях, на відкритому повітрі, без підключення до електромережі.

## 2.6 Перспективи розвитку та вдосконалення приладу

Розроблений прилад є прототипом, який демонструє базову функціональність із вимірювання освітленості та індексу ультрафіолетового випромінювання. Однак, існує значний потенціал для подальшого вдосконалення та розширення його функціональних можливостей. У цьому підрозділі розглянуто основні напрями розвитку пристрою.

Підключення до бездротових мереж (Wi-Fi / Bluetooth)

Інтеграція модуля ESP8266 або ESP32 дозволить:

— передавати дані про освітленість і UV-індекс у реальному часі на смартфон, ПК або хмару;

— створити простий веб-інтерфейс для віддаленого перегляду показників;

— організувати логування даних у вигляді графіків та звітів.

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Bluetooth-модуль типу HC-05 може забезпечити бездротову передачу даних у межах приміщення (до 10 м), що зручно для локального моніторингу.

Це відкриває можливість використання приладу у системах "розумного будинку", освітніх проєктах або як елемент моніторингової станції погоди.

– Виведення даних на мобільний додаток

Завдяки використанню платформи Blynk, користувач може переглядати дані з приладу на смартфоні у вигляді графіків, діаграм або повідомлень.

Можливості:

- push-сповіщення про перевищення UV-індексу;
- налаштування порогів тривоги;
- дистанційне керування режимами приладу.

Додавання карти пам'яті (SD Card)

Встановлення модуля MicroSD Card Reader дозволяє зберігати всі дані вимірювань локально.

Це відкриває можливості для:

- зберігання історії освітленості протягом дня/тижня;
- проведення статистичного аналізу;
- роботи в умовах відсутності зв'язку з мережею.

Розширення функціональності за допомогою нових сенсорів

Температурний та вологісний сенсор (наприклад, DHT22) дозволяє вимірювати:

- температуру навколишнього середовища;
- відносну вологість;
- коригувати похибки вимірювання УФ (адже температура впливає на ML8511).

Також можливе підключення:

- Барометра (BMP180 / BMP280) — для оцінки атмосферного тиску;
- GPS-модуля — для фіксації географічних координат під час вимірювань.

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Друкована плата (PCB) та корпус

Для підвищення надійності та зручності використання передбачено створення:

- друкованої плати (PCB) у редакторі типу EasyEDA;
- 3D-друкованого корпусу з PLA або ABS для компактного та ергономічного розміщення приладу.

Корпус може містити:

- отвори під дисплей і кнопки;
- отвори для під'єднання зарядки (microUSB/Type-C);
- кріплення для ремінця або штативу.

Програмне оновлення та автоматичне калібрування

Програмне забезпечення може бути доповнене:

- автооновленням через USB / Wi-Fi;
- функцією автоматичної калібровки сенсорів;
- збереженням налаштувань користувача в EEPROM.

Таким чином, прилад має великий потенціал для подальшого розвитку та вдосконалення. Можливість бездротової передачі даних, локального збереження, розширення функціоналу новими сенсорами та створення готового продукту.

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		36

## 3 МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ РОЗРОБЛЕНОГО ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ

### 3.1 Загальний аналіз видів похибок

Забезпечення високої точності вимірювань – важке завдання, і вирішення її належить сфері метрологічного забезпечення. Дослідника, чи технолога цікавить в кінцевому результаті похибка отриманих ними результатів вимірювання. Проте ця похибка складається з багатьох складових. Різновидність прояву похибок та причин їх виявлення викликало необхідність поділу цих складових на певні типи.

Похибка результату вимірювань – це відхилення результатів вимірювання від істинного (дійсного) значення вимірюваної величини.

Похибка засобу вимірювань - це певна його властивість, для визначення якої необхідно використовувати певні правила. Похибки засобів вимірювань і похибки результатів вимірювань - це поняття не ідентичні.

Частина назв різновидностей похибок пов'язана з похибками засобів вимірювань, інша частина — з похибками результатів вимірювань, а деякі різновидності похибок використовуються як по відношенню до засобів, так і до результатів вимірювань.

Інструментальні похибки є в кожному засобі вимірювань, вони можуть бути визначені при його випробуваннях і занесені в паспорт на цей засіб.

Крім інструментальних похибок при вимірюваннях ще є і такі похибки, які не можуть бути віднесеними до інструментальних даного засобу вимірювань, а є пов'язані з методикою проведення вимірювань. Такі похибки називаються методичними. Дуже часто причиною виникнення методичної похибки є те, що, організовуючи вимірювання, часто вимірюють або вимушені вимірювати не ту величину, яка в принципі повинна бути виміряна, а деяку іншу, близьку, але не рівну першій величині.

Методичні похибки – це такі похибки, які пов'язані з вибраним методом вимірювань даної величини.

					<i>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відносно терміну «методична похибка» необхідно відмітити, що останнім часом, особливо в теорії цифрових приладів, його почали використовувати цілком в іншому розумінні, а саме для позначення похибки квантування, яка викликана закладеним в прилад принципом роботи і не залежить ні від розробника, ні від виробника приладу. Похибка квантування цифрового представлення інформації немов би є обов'язковою. Тому розробник із задоволенням називає таку похибку методичною і тим самим підкреслює, що її розмір не залежить від його зусиль.

Таким чином, відмінною особливістю методичних похибок є те, що вони можуть бути визначеними лише шляхом створення математичної моделі, або імітаційним моделюванням досліджуваного об'єкта і не можуть бути знайденими навіть найбільш глибокими дослідженнями лише самого засобу вимірювань.

Так як методичні похибки не можуть бути вказаними в паспорті і на засіб вимірювань, а повинні оцінюватися експериментатором, то він повинен при виконанні вимірювань чітко відрізнити фактичну виміряну ним величину від величини, яка підлягає вимірюванню. Така оцінка є досить складною. Вона вимагає додаткового експериментального дослідження прийнятого метода вимірювань. Якщо це вже встановлений і незмінний на протязі довгого часу метод вимірювання конкретних об'єктів вимірювання, то в результаті вказаного вище дослідження його похибки можуть бути наперед визначеними і внесені в паспорт на метод вимірювання. Розробка таких експериментальних паспортів похибок стандартних методів вимірювань - це одна із важливих задач сучасної галузевої метрології.

Основна і додаткова похибки засобу вимірювань. Будь-який первинний перетворювач, вимірювальний прилад працюють в умовах, які можуть змінюватися в часі. Це перш за все обумовлено тим, що процес вимірювання характеризується впливом на засіб вимірювань (як з боку об'єкта вимірювань, так і зовнішнього середовища, джерела живлення тощо) окремих факторів. Кожний із факторів може бути виміряним окремо, але в реальних умовах ці фактори

					<i>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		38

впливають на засіб вимірювання разом з іншими факторами.

Одним із таких факторів є вимірювана величина. Тому від засобу вимірювань вимагають, щоб він виділив із множини діючих на нього факторів саме вимірювану величину.

Поділ похибок засобу вимірювань на основну і додаткові є чисто умовним і обумовлюється в технічній документації на кожний вид засобів вимірювань.

В залежності від умов і режимів вимірювання розрізняють статичну і динамічну похибки засобу вимірювання. Статичною називають похибку, яка не залежить від швидкості зміни вимірюваної величини в часі. Статична похибка засобу вимірювання виникає при зміні за його допомогою постійної величини.

Динамічною називають похибку, яка залежить від швидкості зміни вимірюваної величини в часі. Виникнення динамічної похибки зумовлене інерційністю елементів вимірювальної ланки засобу вимірювання, тобто тим, що перетворювання в вимірювальній ланці не відбуваються миттєво, а потребують певного часу.

Динамічною похибкою засобу вимірювання є різниця між похибкою засобу вимірювання в динамічних умовах та його статичною похибкою, яка відповідає значенню величини в даний момент часу.

В залежності від характеру виявлення, можливості усунення і причин виникнення розрізняють систематичну та випадкову похибки. Систематичною називають складову похибки вимірювань, яка є постійною або закономірно змінюється при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини. Причинами виникнення систематичної складової похибки вимірювань (систематичних похибок) є: відхилення параметрів реального засобу вимірювання від розрахованих значень передбачених схемою; нерівноваженість певних деталей засобу вимірювання відносно їх осі обертання, яке призводить до додаткового обертання за рахунок зазорів, що є в механізмі; похибка градування або деякий зсув шкали; знос робочих поверхонь деталей засобу вимірювання; старіння деталей; несправність засобу вимірювання і т. д.

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зовні систематичну похибку неможливо виявити. Виявити її можна тільки при повірці шляхом порівняння робочих засобів вимірювання з зразковими.

Випадковою називають складову похибки, яка змінюється випадково при повторному вимірюванні однієї і тієї ж величини. Випадкова похибка виникає при одночасній дії багатьох джерел, кожне з яких саме по собі непомітно впливає на результат вимірювань, а сумарний вплив всіх джерел може бути достатньо великим, тобто це така похибка, яка не може бути передбачена ні по знаку ні по величині.

Систематичні та прогресуючі похибки. Систематичними називаються похибки, які змінюються з часом і є певними функціями визначених параметрів. Основна відмінна ознака систематичних похибок полягає в тому, що вони можуть бути передбаченими і завдяки цьому майже повністю виключеним шляхом введення відповідних поправок.

Значна небезпека постійних систематичних похибок полягає в тому, що їх наявність досить важко виявити. На відміну від випадкових, прогресуючих похибок, чи похибок, які є певними функціями визначених параметрів, постійні систематичні похибки зовнішньо себе ніяк не проявляють і можуть довгий час залишатися невиявленими. Одним із способів їх виявлення є проведення вивіряння засобу вимірювань шляхом повторної атестації за допомогою взірцевих мір, або сигналів.

Прикладом систематичних похибок, які є певними і постійними в часі функціями визначених параметрів, є похибки від зміни таких величин як: температури навколишнього середовища, частоти і напруги живлення. Ці похибки задані постійними функціями в часі, можуть бути передбаченими і скоригованими шляхом введення у засіб вимірювань додаткових коректуючих перетворювачів, які сприймають ці параметри і вводять, відповідні поправки в результат вимірювання.

Прогресуючими (або дрейфуючими) називаються такі непередбачені похибки, які повільно змінюються в часі. Ці похибки, як правило, виникають в

					<i>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						<i>41</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

результаті процесів старіння різних деталей засобів вимірювань (резисторів, конденсаторів, механічних деталей тощо). Особливістю прогресуючих похибок є те, що вони можуть бути скориговані шляхом введення поправки лише в даний момент часу, а пізніше вони знову непередбачено змінюються. Тому на відміну від систематичних похибок, які можуть бути скориговані за допомогою поправок, визначених один раз на весь термін служби засобу вимірювань, прогресуючі похибки вимагають повторних корекцій, причому тим частіших, чим більшим є термін фактичної експлуатації засобу вимірювань. Інша особливість прогресуючих похибок полягає в тому, що їх зміна в часі - це нестандартний випадковий процес, теорія якого, на відмінно від стаціонарного випадкового процесу, є більш складною. Тому вони можуть бути описані лише наближено.

Похибки адекватності і градування засобів вимірювань. Наявність цих похибок приводить до того, що характеристики засобів вимірювань (первинних перетворювачів, приладів, каналів інформаційно-вимірювальних схем) виявляються неоднозначними. При експериментальному їх визначенні, тобто при градуванні засобів вимірювань, отримують лише ряд точок. По цій лінії точок проводять на графіку деяку плавну середню криву, яку і приймають за характеристику засобу вимірювань, хоча деякі експериментальні точки не співпадають з нею. Для назви цих відхилень використовується ряд нижченаведених термінів.

Систематичне відхилення експериментальних даних від вибраної характеристики пвної кривої в загальному випадку називається похибкою адекватності вибраної функціональної залежності (прямої лінії, експоненти тощо) фактичній характеристиці засобу вимірювань. Якщо такою характеристикою є пряма лінія, то похибка її адекватності називається похибкою лінійності засобу вимірювань. Якщо похибка адекватності змінює свій знак залежно від напрямку попереднього відліку зміни вхідної величини, то така похибка засобу вимірювань називається похибкою від гістерезису або варіацією засобу вимірювань.

Похибки засобів вимірювань можуть бути також обумовлені недостатньою

					<i>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

точністю взірцевих засобів, що використовуються при градуюванні. Законодавча метрологія вимагає, щоб похибка взірцевих засобів вимірювань була не більшою 1/3 похибки засобу вимірювань, який підлягає градуюванню чи вивірянню. Взірцеві засоби вимірювань можуть містити систематичну похибку, а в процесі градуювання чи вивіряння мають місце лише випадкові похибки. Всі ці похибки об'єднуються під однією спільною назвою - похибка градуювання.

Похибка даного засобу вимірювань - це різниця між реальною і номінальною його характеристиками, тобто не число, а функція вимірюваної величини.

В залежності від форми вираження розрізняють абсолютну і відносну похибки. Абсолютною називають похибку, яка показує на скільки результат вимірювання відрізняється від істинного значення вимірюваної величини.

Тобто:

$$\Delta = A - X_{icm} \quad (3.1)$$

де - абсолютна похибка вимірювань;  $A$  – результат вимірювання;  $X_{icm}$  – істинне значення вимірюваної величини.

Абсолютна похибка виражається в тих же одиницях, що й вимірювальна величина. Абсолютна похибка, не може сама по собі бути показником точності вимірювань, так як одне і те ж її значення, наприклад,  $\Delta x = 0,05$  мм при  $x = 100$  мм, відповідає достатньо високій точності, а при  $x = 1$  мм - низькій. Тому для характеристики точності результатів вимірювань ввели поняття відносної похибки.

Відносна похибка вимірювань представляє собою відношення абсолютної похибки вимірювання до істинного значення вимірюваної величини. Відносну похибку визначають в процентах за формулою:

$$\delta = \frac{A - X_{icm}}{X_{icm}} \cdot 100 = \frac{\Delta}{X_{icm}} \quad (3.2)$$

Однак вказана відносна похибка не завжди підходить для нормування похибки засобу вимірювань, так як при різних значеннях  $x$  буде приймати різні

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значення, в тому числі  $\gamma = \infty$  при  $x = 0$ . Тому для нормування похибки засобу вимірювань, використовують так звану приведену похибку  $\gamma_{np}$ , яка визначається як відношення абсолютної похибки, вираженої в одиницях вхідної  $\Delta x$  чи вихідної  $\Delta y$  величин, до діапазону зміни відповідно вхідної  $x_k$  чи вихідної  $y_k$  величин засобу вимірювань і виражається у відносних одиницях або у відсотках, тобто

$$\gamma_{np} = \frac{\Delta x}{x_k} = \frac{\Delta y}{y_k} \quad (3.3)$$

Її основна відмінність від відносної похибки полягає в тому, що  $\Delta x$  чи  $\Delta y$  відноситься не до змінної текучої величини  $x$  чи  $y$ , а до постійної величини (діапазону зміни вхідної чи вихідної величини засобу вимірювання). Приведена похибка зручна тим, що для багатодіпазонних засобів вимірювань вона має одне і те ж значення як для всіх точок кожного піддіапазону, так і для всіх його піддіпазонів, тобто є досить зручною для нормування засобів вимірювань.

Поняття абсолютної, відносної і приведені похибок існуючими стандартами встановлені тільки для засобів вимірювань, але їх зручно використовувати і для характеристики результатів вимірювань.

Похибки засобу вимірювань, які залежать від величини вхідного сигналу називаються мультиплікативними, а ті що не залежать – адитивними.

Похибка квантування характерна для цифрових засобів вимірювання, яка виникає при наявності дискретних перетворювачів.

Похибка квантування  $\Delta_k$  є методичною похибкою самого виміру. Похибка від квантування рівна різниці між результатом виміру без попереднього перетворення величини сигналу  $x_N$  і дійсним значенням величини сигналу  $X$ :

$$\Delta_k = x_N - X \quad (3.4)$$

Похибка від квантування  $\Delta_k$  по характеру зміни може бути систематичною і випадковою.

Характер зміни похибки  $\Delta_k$  перерозподіляє і метод її зменшення.

Якщо вимірювальна величина постійна за розміром, то похибка  $\Delta_k$  також є

						Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ	

постійною величиною і може бути знайдена за допомогою більш чутливого приладу, наприклад диференційного моста або накладання випадкового сигналу з подальшою статистичною обробкою ряду нагляду.

Якщо вимірювальна величина змінюється в часі  $X(t)$ , то характер зміни похибки від квантування залежить від характеру зміни сигналу  $X(t)$  і від режиму роботи вимірювального приладу.

### 3.2 Аналіз похибки розробленого приладу

Датчик освітленості ВН1750, як і будь-який інший датчик, має свою метрологічну точність та може виявляти певні похибки під час вимірювання. Основні фактори, які можуть впливати на точність вимірювання датчика ВН1750, включають наступне:

Похибка калібрування. Калібрування датчика є важливим етапом для забезпечення точності вимірювання. Якщо датчик не був належним чином скорегований або калібрований, це може призвести до значних похибок у вимірюваннях.

Вплив джерел світла. Датчик ВН1750 може виявляти вплив навколишніх джерел світла, які не є об'єктом вимірювання. Наприклад, якщо поруч знаходиться інтенсивний джерело світла, воно може створювати додаткове освітлення, що призведе до збільшення значень, отриманих датчиком.

Вплив кута падіння світла. У деяких випадках, коли кут падіння світла на датчик не є прямим, можуть спостерігатися похибки вимірювання. Деякі датчики освітленості мають певні кутові обмеження, які необхідно враховувати при їх використанні.

Вплив температури. Температура може впливати на роботу датчика і призводити до похибок вимірювання. Температурна компенсація може використовуватися для скоригування цих похибок, але вона не завжди є повністю ефективною.

Важливо враховувати ці фактори та дотримуватися рекомендацій виробника,

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

щоб максимально зменшити похибки вимірювання. Якщо вимагається висока точність вимірювання освітленості, можуть бути необхідні додаткові калібрування та коригування вимірювальних значень.

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 4 ВИКОРИСТАННЯ ARDUINO IDE ДЛЯ ПРОГРАМУВАННЯ ПЛАТИ ARDUINO

## 4.1 Огляд Arduino IDE

Arduino IDE (Integrated Development Environment) є основним інструментом для програмування та розробки проектів на платформі Arduino. Це безкоштовне середовище розробки, яке надає зручний інтерфейс для написання, компіляції та завантаження програмного коду на плату Arduino. Arduino IDE підтримує різні моделі плат Arduino і має вбудовані бібліотеки для спрощення роботи з платою та периферійними пристроями (рисунок 3.1).

Рисунок 3.1 – Інтерфейс середовища розробки Arduino IDE

```
lux | Arduino 1.8.19
Файл Правка Скетч Інструменти Допомога

#include <BH1750.h>
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
Adafruit_SSD1306 display = Adafruit_SSD1306(128, 32, &Wire);
BH1750 lightMeter;
int UVOUT = A0; //Output from the sensor
int REF_3V3 = A1; //3.3V power on the Arduino board

int button_old = 1;
int KeyOutPin = 2; //Задействуем с 8-го по 11-й пины платы Arduino Nano
int KeyInPin1 = 3; //
int KeyInPin2 = 4; //
int item = 1;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode(UVOUT, INPUT);
  pinMode(REF_3V3, INPUT);

  Serial.begin(9600);
}

1 Arduino Nano, ATmega328P (Old Bootloader) на COM5
```

## 4.2 Інсталяція та налаштування Arduino IDE

Перед початком роботи з Arduino IDE, спочатку потрібно завантажити та встановити його на комп'ютер. Arduino IDE підтримує різні операційні системи,

такі як Windows, macOS та Linux. Після успішної інсталяції, користувач повинен встановити налагоджувальний порт для з'єднання з платою Arduino.

### 4.3 Структура проекту Arduino в Arduino IDE

Arduino IDE працює з проектами, які складаються з одного або кількох файлів. Основним файлом проекту є файл з розширенням ".ino". У цьому файлі зазвичай міститься основний код програми, який буде виконуватися на платі Arduino. Крім того, проект може містити додаткові файли, такі як заголовочні файли з розширенням ".h" або файли бібліотек з розширенням ".cpp".

### 4.4 Написання та компіляція програмного коду

Arduino IDE надає текстовий редактор для написання програмного коду на мові Arduino, яка базується на мові програмування C/C++. Користувач може використовувати вбудовані функції та бібліотеки Arduino для спрощення роботи з платою та її периферійними пристроями.

Після написання коду користувач може скомпілювати програму, натиснувши відповідну кнопку в Arduino

IDE. Компіляція перевіряє синтаксичну правильність коду та перетворює його в машинний код, який розуміє плата Arduino.

### 4.5 Завантаження програми на плату Arduino

Після успішної компіляції програмного коду, користувач може завантажити програму на плату Arduino. Arduino IDE підтримує підключення до плати через USB-порт або інші доступні засоби зв'язку. Перед завантаженням програми, користувач повинен вибрати правильну плату Arduino та налагоджувальний порт у налаштуваннях Arduino IDE.

Після вибору правильних налаштувань, користувач може натиснути кнопку "Завантажити" в Arduino IDE, щоб завантажити програму на плату Arduino. Arduino

					<i>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

IDE компілює код, створює виконуваний файл та передає його на плату Arduino через вибраний порт зв'язку.

#### **4.6 Налагодження та моніторинг**

Arduino IDE надає можливості для налагодження програми, що виконується на платі Arduino. Користувач може додавати точки зупинки (breakpoints) у коді, щоб перевірити значення змінних та виконання програми крок за кроком.

Крім того, Arduino IDE має моніторинговий режим, який дозволяє виводити значення змінних, повідомлення про помилки та іншу інформацію на комп'ютерний монітор. Це допомагає відлагоджувати та налагоджувати програму на платі Arduino.

#### **4.7 Використання бібліотек**

Arduino IDE має велику кількість вбудованих бібліотек, які спрощують взаємодію з різними периферійними пристроями та модулями. Користувач може використовувати ці бібліотеки для розширення функціональності своїх проектів та спрощення програмування.

Крім вбудованих бібліотек, користувачі можуть створювати власні бібліотеки для використання у своїх проектах. Arduino IDE забезпечує можливість створення, імпорту та використання власних бібліотек.

У цьому розділі було розглянуто використання Arduino IDE для програмування плати Arduino. Arduino IDE є потужним інструментом розробки, який надає зручний інтерфейс для написання, компіляції та завантаження програмного коду на плату Arduino. Крім того, він підтримує велику кількість бібліотек, що спрощують взаємодію з периферійними пристроями та модулями. Arduino IDE є незамінним інструментом для розробки різноманітних проектів на базі плати Arduino.

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## Висновок

В даному дипломному проекті проведено аналіз відомих методів та засобів для вимірювання освітленості та інтенсивності ультрафіолетового випромінювання.

Розроблено прилад, який представляє собою компактний люксиметр для вимірювання освітленості та інтенсивності УФ-випромінювання. Розробка пристрою на базі платформи Arduino дозволяє знизити вартість та спростити процес виготовлення люксиметра, забезпечуючи доступність цієї технології для широкого кола користувачів. Крім того, використання Arduino надає можливість програмування та налаштування пристрою відповідно до індивідуальних потреб та вимог.

Проведено метрологічний аналіз спроектованого приладу, а саме здійснено аналіз похибок приладу для вимірювання освітленості та факторів які на них впливають. Після чого можна зробити висновок, що даний прилад забезпечує вимірювання показників з достатньою точністю.

Здійснено аналіз питань з охорони праці при роботі з розробленим приладом та його виготовленням. А саме проведено аналіз потенційно-небезпечних факторів, які існують в електромонтажній майстерні, під час виготовлення приладу, та методи боротьби з ними.

Отже, враховуючи вище сказане розробка та виготовлення люксиметра з функцією вимірювання індексу ультрафіолетового випромінювання на базі платформи Arduino є актуальною та перспективною.

Результатом цього проекту є пристрій, який забезпечить точне вимірювання індексу ультрафіолетового випромінювання і надасть користувачеві необхідні дані для захисту свого здоров'я. Користувачі зможуть своєчасно реагувати на зміни у рівні ультрафіолетового випромінювання та вживати заходи для запобігання можливим проблемам, таким як сонячні опіки, передчасне старіння шкіри та ризик розвитку раку шкіри.

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	<i>Арк.</i>
						50
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## Перелік використаних джерел

1. BH1750FVI. Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC — ROHM, [2014]. — 21 с.
2. ML8511. UV Sensor with Voltage Output — LAPIS Semiconductor, [2013]. — 8 с.
3. Градиль В. П. Краткий справочник радио-монтажника/ В. П. Градиль. – Харьков: «Прапор», 1974. – 303 с.
4. Кісіль І. С. Конструювання вимірювальних приладів /І. С. Кісіль – Ів.-Ф.: Факел, 2004 – 327с.
5. Мікроконтролер серії ATMEGA в ARDUINO : документація. — Atmel, [2005]. — 86с.
6. Монтаж електричний радіоелектронної апаратури та приладів. Загальні вимоги до об'ємного монтажу виробів електронної техніки та електротехнічних: ДСТУ 3166-95 (ГОСТ 23592-96). – К.:Держспоживстандарт України, 1996. – 7 с.
7. Основи метрології та вимірювальної техніки. Том 1/ М. Дорожовець, В. Мотало, В. Василюк та ін.; за ред.. Б. Стадника. — Львів: ЛП, 2005. — 654с.
8. Основи метрології та вимірювальної техніки. Том 2/ М. Дорожовець, В. Мотало, В. Василюк та ін.; за ред.. Б. Стадника. — Львів: ЛП, 2005. — 654с.
9. Чистофорова Н.В. Технические измерения и приборы. / Н.В. Чистофорова, А.Г.Колмогоров. – Ангарск, АГТА, 2008. – 200 с.

					<b>КРБ.СІ-17.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		