

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Приладів та систем неруйнівного контролю

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Анатолій ПРОТАСОВ

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології неруйнівного контролю і діагностики»

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Автоматизований пристрій для контролю освітленості»

Виконав:

студент IV курсу, групи ПК-61
Петренко Дмитро Володимирович _____

Керівник:

старший викладач, к.т.н.
Муравйов Олександр Володимирович _____

Консультант з розробки електричної схеми
доцент, к.т.н. Баженов Віктор Григорович _____

Консультант з розробки конструкторської частини
ст. викладач, к.т.н. Богдан Галина Анатоліївна _____

Рецензент:

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизований пристрій для контролю
освітленості»

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Приладів і систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Анатолій ПРОТАСОВ

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Петренко Дмитро Володимирович

1. Тема проєкту «Автоматизований пристрій для контролю освітленості», керівник проєкту Муравйов Олександр Володимирович, к.т.н., ст. викладач, затверджені наказом по університету від «20» травня 2020 р. № 1180-с
2. Термін подання студентом проєкту «10» червня 2020 року
3. Вихідні дані до проєкту: кут поля зору оптичної системи $2\omega = 20^\circ$, діаметр вхідної зіниці $D_{\text{вх.зін.}} = 15$ мм, діапазон вимірювання рівня освітленості 0 – 100 000 лк.
4. Зміст пояснювальної записки: Вступ, Розділ 1. Аналітичний огляд літературних джерел, Розділ 2. Підбір функціональних компонентів, Розділ 3. Підключення та перевірка елементів, Розділ 4. Розробка пристрою, Висновки, Список використаної літератури, Додатки.
5. Перелік графічного матеріалу: складальне креслення, функціональна схема, схема електрична принципова, оптична схема.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка електричної схеми	Баженов В.Г., доцент, к.т.н.		
Конструкторська частина	Богдан Г.А., ст. викладач, к.т.н.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Літературний огляд за темою дипломного проекту	1-4 тиждень	
2	Синтез функціональної схеми приладу	5 тиждень	
3	Синтез оптичної системи приладу	6-7 тиждень	
4	Вибір електричних компонентів приладу	8 тиждень	
5	Синтез електричної схеми приладу	9-10 тиждень	
6	Розробка складального креслення	11 тиждень	

Студент

Дмитро ПЕТРЕНКО

Керівник

Олександр МУРАВЬОВ

АНОТАЦІЯ

На дипломний проект бакалавра було вирішено розробити автоматизований пристрій для контролю освітленості. На основі літературного огляду проведено аналіз сучасних моделей люксометрів, сфер їхнього застосування, принципу дії.

Виявлено проблематику застосування даних приладів у сфері сільського господарства, а саме при вирощування рослин захищеного ґрунту, які потребують постійного контролю. Обрано варіанти автоматизації для покращення роботи приладу в даній області. Розроблено пристрій, при застосуванні якого вирішується задача не тільки контролю освітленості, а й контролю рівня потоку інфрачервоного випромінювання та за допомогою датчика кольору визначаються відтінки забарвлення листя, щоб дізнатися, яких поживних речовин не вистачає рослині на певному етапі росту.

Пристрій було зібрано на основі плати Adafruit METRO Arduino-Compatible. Проведено випробування, такі як: вимірювання освітленості, світлового потоку в видимому діапазоні довжин хвиль спектру, рівня інфрачервоного випромінювання, визначення певної кількості кольорів об'єктів контролю. Автоматизацію пристрою для використання у сфері сільського господарства успішно реалізовано.

Перелік ключових слів: освітленість, автоматизація, інфрачервоне випромінювання, світловий потік, люксометр, фотометрія.

ANNOTATION

It was decided to develop an automated device for light control for the bachelor's project. The analysis of modern models of luxmeters, spheres of their application, principles of action are carried out.

The problems of application of these devices in the field of agriculture are revealed, namely at plants cultivation of the protected soil which need constant control. To improve performance of the device in this area different automation options had been chosen. The device that solves the problem not only of light control, but monitor infrared radiation and with using color sensor detection of leaves color to determine which nutrients the plant is lacking was developed.

The device was assembled on the basis of the Adafruit METRO Arduino-Compatible board. Tests were performed, such as: measurement of illuminance, light flux in the visible region of spectrum wavelengths, level of infrared radiation, determination of a certain number of test objects colors. Automation of the device for using in agriculture was successfully completed.

Keywords: illumination, automation, infrared radiation, light flux, luxmeter, photometry.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ПК – персональний комп'ютер;

ІЧ – інфрачервоне випромінювання;

УЗ – ультразвук;

НК – неруйнівний контроль;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

КМОН – комплементарна структура метал-оксид-напівпровідник.

ЗМІСТ

ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	12
1.1 Сфери застосування люкметрів	12
1.2 Фізичні основи фотометрії та люкметрії	15
1.2.1 Енергетичні величини	16
1.2.2 Світлові величини	18
1.3 Класифікація, види люкметрів, порівняння характеристик, їх особливостей та застосування	22
1.3.1 Аналіз сучасних моделей люкметрів	22
1.3.2 Аналіз принципу роботи приладу	25
1.3.3 Принцип роботи електричних схем різних видів люкметрів	26
1.4 Пояснення вибору схеми та типу люкметра	28
1.5 Особливості майбутнього пристрою	29
1.6 Висновки до розділу	32
РОЗДІЛ 2. ПІДБІР ФУНКЦІОНАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ	33
2.1 Розробка функціональної схема люкметра вибраного типу	33
2.2 Моделювання оптичної системи пристрою	34
2.3 Розрахунок освітленості на площадці приймача випромінювання ..	37
2.4 Вибір мікроконтролера та його характеристик	40
2.5 Вибір датчика освітленості та його характеристик	41
2.6 Вибір датчика ІЧ випромінювання та його характеристики	42

					ПК61.14.00.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизований пристрій для контролю освітленості Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Акрушіє
Розроб.	Петренко Д.В.						9	
Перевір.	Муравйов О.В.					ПБФ, ПК-61		
Н. Контр.								
Затверд.	Муравйов О.В.							

2.7 Вибір датчика кольору та його характеристики	43
2.8 Вибір датчика вимірювання дистанції та його характеристики	44
2.9 Вибір модуля для бездротової передачі даних.....	44
2.10 Вибір датчика дотику	45
2.11 Висновки до розділу.....	46
РОЗДІЛ 3. ПІДКЛЮЧЕННЯ ТА ПЕРЕВІРКА ЕЛЕМЕНТІВ	47
3.1 Підключення та розробка програмного забезпечення для датчика освітленості.....	47
3.2 Підключення та розробка програмного забезпечення для ультразвукового датчика	49
3.3 Підключення та розробка програмного забезпечення для інфрачервоного датчика	51
3.4 Підключення та розробка програмного забезпечення датчика кольору	53
3.5 Підключення Bluetooth модуля	58
3.6 Висновки до розділу.....	59
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ	60
4.1 Моделювання та підключення пристрою	60
4.2 Тестова модель пристрою.....	62
4.3 Висновки до розділу.....	64
ВИСНОВКИ	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	66
ДОДАТКИ.....	68

ВСТУП

Всі життєво важливі процеси на Землі для переважної кількості живих істот пов'язані зі світлом. Завдяки еволюції люди пристосовані для життя при сонячному освітленні, яке впливає на наш емоційний та фізичний стан. Дія слабкого або надто сильного світла негативно впливає на людей.

Недостатній рівень освітленості призводить до передчасної втоми, викликає сонливість, суттєво знижує ефективність праці, знижує ефективність прийняття рішень, при цьому значно підвищується ймовірність появи помилок, які в свою чергу призводять до травм, з'являються захворювання і навіть зафіксовані летальні випадки. Існує спеціальний медичний термін: «світлове голодування». Статистика свідчить, що у 20% випадків травми на виробництві виникали через недостатню освітленість, а в 5% слабка освітленість призводила до нещасних випадків, що виникали на робочих місцях.

Якщо розглядати рослинність, то не важко зрозуміти, що від світла залежить їх повноцінний розвиток, ріст, дозрівання та плодючість. На кожній стадії розвитку рослини: від насінини до паростка, потім до формування стебла, крони рослини чи дозрівання плодів, надважливим є контроль різних важливих показників, таких як: освітленість, ІЧ випромінювання, вологість, вміст в ґрунті різних добавок, та багато іншого.

Головною ідеєю створення приладу є використання сучасних датчиків у поєднанні з високоефективним програмним забезпеченням. Його головними перевагами буде наявність багатьох додаткових можливостей та удосконалень, яких не мають жодні сучасні пристрої, що дасть змогу вирішити декілька важливих проблем на виробництві вирощування рослин у закритому ґрунті (теплицях, парниках та інших спорудах).

					<i>ПК61_14_00_00_00 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Сфери застосування люкметрів

Сфера застосування люкметрів є досить широкою: вона включає в себе такі різноманітні області як сільське господарство, приладобудування, охорона праці, металургія тощо.

У зв'язку з цим контроль освітленості відіграє важливу роль серед заходів з охорони праці. Існують різні документи, які вказують на правильний розподіл освітлювальних засобів та на рівень освітленості приміщень в залежності від їхнього призначення та видів діяльності, що в них ведеться. В Україні на даний час норми освітлення регламентує ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення». Цей документ має вплив на будівлі, споруди, конструкції, об'єкти, що будуються, та на різні види реконструкцій, також в ньому наведені рекомендації щодо вибору систем освітлення, ламп та світильників для різних приміщень. Існує спеціальна Міжнародна комісія по освітленості (СІЕ) яка займається питаннями по регулюванню норм світла. Вона затвердила стандарт освітленості ISO 8995: 2002, в якому описуються всі вимоги по освітленості, мінімальні рівні допустимої освітленості, коефіцієнти передачі кольору та багато іншого. Принциповою відмінністю ISO 8995: 2002 та ДБН В.2.5-28-2006 являється те, що в ДБН В.2.5-28-2006 розглядається як природне так і штучне освітлення, а в ISO 8995: 2002 лише штучне. Наприклад, в табл. 1 нижче наведені норми освітленості для певних видів приміщень з цих документів [1].

Таблиця 1.1 Норми освітленості для приміщень

Типи приміщень	ДБН В.2.5-28-2006	ISO 8995: 2002
Коридори	50 Люкс	100 Люкс
Конференц-зали	200 Люкс	500 Люкс
Театри та концертні зали	300 Люкс	200 Люкс
Музеї	200 Люкс	300 Люкс
Читальний зал	300 Люкс	500 Люкс

Аудиторія	400 Люкс	500 Люкс
Класи для креслення	500 Люкс	750 Люкс
Комп'ютерний клас	500 Люкс	750 Люкс
Машинобудування. Основна робота та збірка	300 Люкс	500 Люкс

По багатьох позиціях в Європі встановлено більш високі норми освітленості ніж в Україні.

Також світло певного спектрального складу і достатньої інтенсивності потрібно для нормального росту, розвитку, урожайності та правильного живлення рослин. Більшість тепличних рослин ростуть та плодоносять за освітленості в 8000-12000 лк. Такий потік сонячного світла спостерігається в період з кінця лютого по жовтень. Взимку освітленість на поверхні ґрунту досягає 4000-5000 лк, це в 15 разів менше освітленості в літку, ще менше світла потрапляє в післяполудневі та ранкові години. В цей час освітленість теплиць зовсім низька внаслідок поглинання та відбиття світла склом. Конструкцією теплиць поглинається 10% світла, ще близько 10% відбивається склом. Через забруднення покривельного матеріалу втрачається ще 30% світла, в цілому втрати складають 50%. У продовж осінньо-зимового періоду, коли день є дуже коротким та інтенсивність сонячного випромінювання низька, вирощування розсади та овочевих культур в теплицях стає неможливим без додаткового освітлення. Такими джерелами світла являються спеціальні різноманітні лампи з певними характеристиками, які підходять конкретному типу теплиці та культурі, що вирощується. За допомогою люксометрів існує можливість всі ці фактори контролювати [2].

Також відомо, що для кожного типу рослин потрібно встановлювати індивідуальний рівень освітленості, який максимально відповідає її природньому середовищу та задовольняє її потреби. Тому що деякі рослини прекрасно почуваються у затінку, а інші є світлолюбними. Для прикладу, зверніть увагу на рисунок 1.1.

					ПК61_14_00_00_00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13



Рисунок 1.1 Ріст та розвиток рослини при різній освітленості

На фото зображено *Ceratophyllum*. Зліва рослина, що росте при ідеальному рівні освітленості, вона гармонічно та повноцінно розвинута, у середині така ж сама рослина тільки при низькому рівні освітленості, вона блідо-зеленого кольору, має довге та тонке стебло. На правому фото зображено рослину, що росла при надлишковому освітленні, вона втратила свій колір та стала набувати червонуватого забарвлення.

Отже, на умови освітленості рослин в тепличних спорудах впливає вибір ділянки ґрунту та її розміщення, якість скла та його забруднення, кут нахилу покрівлі, розміщення рослини, вибір джерел штучного освітлення, та багато інших факторів, які контролюють за допомогою люксметра.

Штучне освітлення на сьогоднішній день зустрічається усюди: магазини, школи, університети, дім, вулиця, робота – галогенні лампи, розжарювання, світлодіодні, люмінесцентні, компактні люмінесцентні лампи тощо [3].

Основними характеристиками світлових ламп є:

- Потужність
- Світловий потік
- Енергоефективність
- Колірна температура
- Передача кольору
- Тип цоколю
- Кут, під яким світло поширюється від лампи

Люксометром проводять контроль такого параметру як світловий потік: чим він вищий, тим яскравіше світитиме лампочка, цей контроль проводять ще на етапі їхнього виробництва. Також можна виявляти проблеми, тобто несправності, такі як миготіння, що згодом негативно впливатиме на якість зору людини.

Приладобудування також потребує контролю певних параметрів приладів що виробляються:

- ліхтарики
- ультрафіолетові освітлювачі
- прожектори
- автомобільні фари

Також перевіряється ще багато інших систем і пристроїв, які без перевірки та контролю не дозволяється випускати у продаж.

Не обходяться і без застосування люксометра певні методи неруйнівного контролю. Цей прилад використовується при капілярному методі та являється однією з головних умов його проведення. Поверхня, що контролюється, повинна мати денну (природну) або штучну освітленість не менше 500 лк.

При візуальному методі НК ділянки об'єкта чи якоїсь деталі загальний огляд проводиться при освітленості в 150 лк, а при місцевому візуальному контролі освітлення повинно сягати щонайменше 500 лк. [4].

1.2 Фізичні основи фотометрії та люксометрії

Фотометрія – це розділ оптики, що займається вимірюванням інтенсивності світла та його джерел. В ньому використовуються світлові та енергетичні величини.

До енергетичних величин відносяться:

- Енергетична світність (опромінення) – R_e
- Енергетичний потік випромінювання – Φ_e
- Енергетична яскравість – B_e

					ПК61.14.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

- Енергетична сила світла – I_e
- Енергетична освітленість (опромінення) – E_e

Вони не враховують властивості приймача світла та характеризують енергетичні параметри оптичного випромінювання.

До світлових величин відносяться:

- Сила світла – I
- Світловий потік – Φ
- Світність – R
- Яскравість – B
- Освітленість – E
- Світлова віддача джерела світла – η

Характеризуючи фізіологічну дію світла, вони оцінюються по впливу на різні приймачі оптичного випромінювання або на око, яке також являється приймачем. Також характеризуються своєю чутливістю до світла з різною довжиною хвилі, для них вводяться світлові одиниці, які використовуються виключно для видимого світла. Саме тому будучи суб'єктивними, світлові величини відрізняються від енергетичних, тобто об'єктивних.

1.2.1 Енергетичні величини

Енергетична світність. Вона являє собою поверхневу густину потоку випромінювання, визначає кількість енергії, яка випромінюється з одиниці поверхні за одиницю часу. Ця скалярна величина дорівнює відношенню потоку випромінювання (Φ_e), що випромінюється поверхнею до площі перетину (S), через яку цей потік проходить.

$$R_e = \frac{\Phi_e}{S} \quad (1)$$

$$[R_e] = \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

					ПК61.14.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Потік випромінювання. Величина являє собою повну енергію, що переноситься світлом через дану поверхню за одиницю часу. Ця скалярна величина дорівнює відношенню енергії випромінювання (W), яке сталося за час (t).

$$\Phi_e = \frac{W}{t} \quad (2)$$

Одиниця потоку випромінювання – Ват (Вт)

$[\Phi_e] = \text{Вт}$.

Потрібно ввести поняття тілесного кута для розгляду інших енергетичних величин. Частина простору із замкнутою направляючою, обмежена конічною поверхнею називається тілесним кутом. Він поширюється безмежно як і кут між двома прямими, мірою такого просторового тілесного кута (Ω) приймають відношення площі, що вирізає цей тілесний кут на поверхні кулі (S), до її радіусу квадрата.

$$\Omega = \frac{S}{R^2} \quad (3)$$

$[\Omega] = \text{ср}$ (Стерадіан)

Максимальний такий кут дорівнює площі всієї сфери тобто 4π , а один стерадіан дорівнює куту що вирізає на сфері з радіусом (R) та площею (R^2).

Енергетична яскравість. Вона залежить від площі джерела та рівня випромінювання, являється характеристикою енергетичних параметрів оптичного випромінювання. Під цим визначенням для ділянки поверхні розуміють відношення енергетичної сили випромінювання в даному напрямку цієї ділянки до проекції на площину поверхні перпендикулярну цьому напрямку.

					ПК61.14.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

$$B_e = \frac{\Delta I_e}{\Delta S} \quad (4)$$

$[B_e] = \text{Вт} / \text{ср} \times \text{м}^2$ (Ват розділений на стерадіан помножений на метр у квадраті)

Енергетична сила світла. Це сила випромінювання джерела у певному напрямку. Вона визначається за допомогою такого поняття про точкове джерело світла як: порівнюючи відстань спостереження та розмірами джерела, останнім можна знехтувати, тому що відстань являється дуже великою. Енергетична сила світла являється скалярною величиною, яка є відношенням потоку випромінювання джерела (Φ_e) до тілесного кута (Ω).

$$I_e = \frac{\Phi_e}{\Omega} \quad (5)$$

$[I_e] = \text{Вт} / \text{ср}$ (Ват на стерадіан).

Енергетична освітленість (опромінення). Являється характеристикою величини падаючого випромінюваного потоку на одиницю освітлювальної поверхні. Скалярна величина, що рівна відношенню потоку який випромінюється на малу ділянку поверхні, до її площі.

$$E_e = \frac{d\Phi_e}{dS} \quad (6)$$

$[E_e] = \text{Вт} / \text{м}^2$ (Ват на метр квадратний)

1.2.2 Світлові величини

Сила світла. Являється характеристикою величини світлової енергії, що переноситься в якомусь напрямку за одиницю часу, одна з основних

					ПК61.14.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

фотометричних світлових величин. Дорівнює відношенню світлового потоку (Φ) до тілесного кута (Ω) в якому поширюється дане випромінювання.

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (7)$$

[Φ] = Кд (Кандела).

Входить до основної Міжнародної системи одиниць (СІ).

Кандела – сила світла яка випускає монохроматичне випромінювання в заданому напрямку від джерела з частотою $540 \cdot 10^{12}$ Гц, в цьому ж напрямку його енергетична сила світла становить $1/683$ Вт/ср. Наприклад сила світла яка випромінюється однією свічкою, приблизно дорівнює одному Кандела.

Світловий потік. Це фізична величина, яка дорівнює енергії світлового потоку, що проходить за одиницю часу через якусь поверхню. Визначається як потужність випромінювання по світловому відчуттю яке воно викликало.

$$\Phi = \frac{W}{t} \quad (8)$$

[Φ] = Лм (Люмен)

1 Лм дорівнює потоку, який випромінюється ізотропним точковим джерелом, з силою яка відповідає 1 Кд і в тілесному куті, який дорівнює 1 Ср:

1лм = 1кд · ср = 1лк · м². Світловий потік, який випромінюється ізотропним джерелом з силою світла 1 Кд, буде дорівнювати 4π Лм.

Світність. Характеризує поверхні які випромінюють світло, за рахунок світлового потоку який відбивається від поверхонь або проходить крізь них. Це так званий сумарний потік, що випромінюється в усі сторони одиницею поверхні.

					<i>ПК61_14_00_00_00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

$$R = \frac{\Phi}{S} \quad (9)$$

$[\Phi] = \text{лм}/\text{м}^2$ (люмене на метр у квадраті).

Яскравість. Являється характеристикою сили світла, яка поширюється в певному напрямку одиницею площі цієї поверхні. Яскравість поверхні в якомусь напрямку (φ) – величина, яка є відношенням сили світла (I) до площі проекції (S) поверхні на площину, яка є перпендикулярною цьому напрямку.

$$B_{\varphi} = \frac{I}{S \cdot \cos \varphi} \quad (10)$$

$[B_{\varphi}] = \text{кд}/\text{м}^2$ (Кандела на метр у квадраті).

Освітленість. З точки зору безпеки життєдіяльності є дуже важливою характеристикою. В сучасному світі її пристрасно контролюють санітарно епідеміологічні станції. Це величина, яка є відношенням світлового потоку (Φ) до площі (S) на яку він падає.

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (11)$$

Освітленість поверхні з допомогою точкового джерела:

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha \quad (12)$$

В цій формулі сила світла (E) в Канделах, відстань до джерела (r), кут падіння (α) світла до поверхні. Таким чином освітленість прямо пропорційна випромінюванню джерелом певної сили світла. Якщо віддаляти джерело від поверхні, то її освітленість буде зменшуватись за законом зворотних квадратів.

					ПК61.14.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

[E] = 1 лк (люкс). Один люкс дорівнює освітленості поверхні площею в 1 м² з світловим потоком в 1 лм. У фотометрії вимірюється з допомогою люксметра, а в фототехніці з допомогою експозиметрів та експонометрів. Освітленість сонцем у день становить 100 000 лк.[5]

Існує дванадцять рівнів освітленості за стандартом DIN 5035 для різних видів діяльності. Мінімумально допустимі норми освітленості наведені нижче:

- Зона для читання – 30 лк.
- Для орієнтації у просторі – 15 лк.
- Для довгого перебування людей – 120 лк.
- Рівень освітленості у виробничих приміщеннях – (60 – 2000) лк.

Світлова віддача джерела світла. Являється характеристикою якості джерела випромінювання світла, що вказує яка частина перетворилася з електричної в світлову енергію. Її величина визначається з допомогою сукупної дії факторів:

- 1) Характеризується значенням ККД, ефективність перетворення споживаної електричної енергії у випромінювану джерелом.
- 2) Здатність випромінювання викликати у людини зорові відчуття, обумовлена певною величиною світлової ефективності випромінювання.

Світлова віддача є відношенням випромінюваного світлового потоку джерела до потужності яку воно споживає.

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (13)$$

Світловий потік (Φ), який випромінюється джерелом, споживана потужність (P). $[\eta] = \text{лм}/\text{Вт}$ (люмен розділений на ват).

У табл. 2 наведені приклади світлової віддачі джерела випромінювання світла.

					ПК61.14.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Таблиця 1.2. Світлова віддача джерел випромінювання світла

Тип джерела	Світлова віддача η ($\text{ЛМ}/\text{Вт}$)
Світлові діоди	10 – 200
Лампа низького тиску газорозрядна натрієва	100 – 200
Зразки білих світлових діодів	249 – 276
Ксенонові лампи	30 – 50
Люмінесцентні лампи	40 – 104
Лампа 100 Вт розжарювання	13,8
Лампа 100 Вт галогенна	17,6
Джерела монохроматичного зеленого світла з довжиною хвилі 555 нм та з частотою 540 ТГц	683

1.3 Класифікація, види люкметрів, порівняння характеристик, їх особливостей та застосування

1.3.1 Аналіз сучасних моделей люкметрів

На сьогоднішній день у світі існує велика різноманітність люкметрів з певними характеристиками та параметрами. Для аналізу та порівняння було обрано три прилади.

1) Люкметр Flus MT-906 (рис. 1.2, а).

Надійний в експлуатації, компактний, максимально простий при застосуванні, якість збірки вимірювального приладу висока, призначений для контролю рівня освітленості в офісах, заводських цехах, при будівництві будівель, при вирощуванні рослин в закритому ґрунті [6].

Особливості:

- Дві величини вимірювання (Люкс і Footcandle)
- Кремнієвий фотодіод з корекцією кольору відповідає спектральній чутливості ока людини
- Двох-строковий дисплей з підсвічуванням

- Індикація переповнення
- Вибір вимірюваних величин
- Індикація низького заряду батареї живлення

2) Люксометр Mastech MS6612 (рис. 1.2, б).

Прилад, що виробляється фірмою Mastech, дозволяє швидко та точно вимірювати освітленість робочих місць, житлових умов, також використовується для вимірювання освітленості доріг від різних джерел світла.

Особливості:

- Автоматичний вибір діапазону вимірювання
- Функція максимальних та мінімальних вимірювань
- Утримання даних
- Запис даних
- Режим очікування
- Індикатор низького заряду батареї

3) Люксометр Flus ET-950 (рис. 1.3.1, в).

Вважається одним з кращих приладів у цій сфері. Відповідає усім міжнародним стандартам, надійний і простий в експлуатації, має високу точність, зручний для використання в складно доступних місцях.

Особливості:

- Дві величини вимірювання (Люкс і Footcandle)
- Знімний кремнієвий фотодіод
- Індикація на дисплеї дати і часу
- Функція максимальних, мінімальних та поточних результатів вимірювання
- Індикація низького заряду батареї
- Два режими економії енергії: автоматичне та ручне вимкнення
- Аналогова шкала
- Автоматичний або ручний вибір діапазонів
- Міцний пило та волого захищений корпус
- Яскраве підсвічування дисплея

					<i>ПК61_14_00_00_00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23



Рис. 1.2 а) Люксметр Flus MT-906, б) Люксметр Mastech MS6612, в) Люксметр Flus ET-950

Таблиця 1.3. Порівняльні характеристики люксметрів

Параметри	Flus MT-906	Mastech MS6612	Flus ET-950
Вага, г	160	420	308
Габаритні розміри, мм	172×55×38	190×89×43	185×66×33
Живлення	Крона 9 V	Крона 9 V	Крона 9 V
Умови експлуатації, температура та вологість	-20°C – 60°C, 10 – 90%	-30 °C– 70°C, 10 –90 %	-20°C – 60°C, 10 – 90%
Діапазон вимірювання	0 – 100 000 лк	0 – 200 000 лк	0 – 400 000 лк
Похибка:(< 10 000 лк)	±3%	±3%	±2%
(> 10 000 лк)	±5%	±4%	±3%

Технологічний розвиток дозволив вище запропонованим люксметрам виконувати різноманітні задачі з високою швидкістю та точністю. Прилади відрізняються один від одного точністю, діапазоном вимірювання, набором функцій, які спрощують їх використання та підвищують ефективність. Також вони відрізняються типом кріплення блоку фотоприймача випромінювання, що сприяє вимірюванню в різних складно-доступних місцях [7].

1.3.2 Аналіз принципу роботи приладу

До класу оптико-електричних пристроїв належать і люксметри. Принцип дії таких приладів базується на перетворенні світлового потоку, що потрапляє на фотодетектор та перетворюється в електричний струм. В замкнутому електричному ланцюзі даного приладу, виникає рух частинок (електронів), енергія яких прямо-пропорційна ступеню освітленості чутливого фотоелемента. Для розширення діапазону вимірювання використовують світло-поглинаючі насадки з певним коефіцієнтом поглинання, зазвичай в сучасних люксметрах ці фільтри вже вбудовані в корпус. Використовувати їх дуже просто, тому що вони вмикаються натисканням однієї кнопки, яка змінює діапазон вимірювання.

Розглянемо структуру елементів найпростішого приладу:



Рис. 1.3 Люксметр

1. LED дисплей
2. Кнопка живлення (on/off)
3. Максимальне та мінімальне значення
4. Можливість призупинити вимірювання
5. Зміна діапазону вимірювання
6. Основне меню
7. Автоматичний запис значень
8. фотодетектор

Досить складною задачею являється калібрування таких приладів зі сторони технічної реалізації, тому що при виконанні калібрування необхідно виконати обов'язкові умови, такі як:

- Підбір динамічного діапазону
- Просторова та спектральна кореляція
- Калібрування з використанням джерела яке має спектральний склад випромінювання

– Оцінка та умови зниження похибки вимірювання

1.3.3 Принцип роботи електричних схем різних видів люкметрів

Розглянемо прилад на основі фотодіода BPW21. Він має спектральну чутливість, яка приблизно дорівнює чутливості людського ока. Чутливість цього елемента становить 10 nA/Lx прилад має велику невизначеність чутливості, тому що розкид Telefunken задає чутливість в межах від $4,4 \text{ nA/Lx}$ до 10 nA/Lx з середнім значенням 7 nA/Lx . Таким чином ланцюг потребує калібрування для мінімізації помилки.

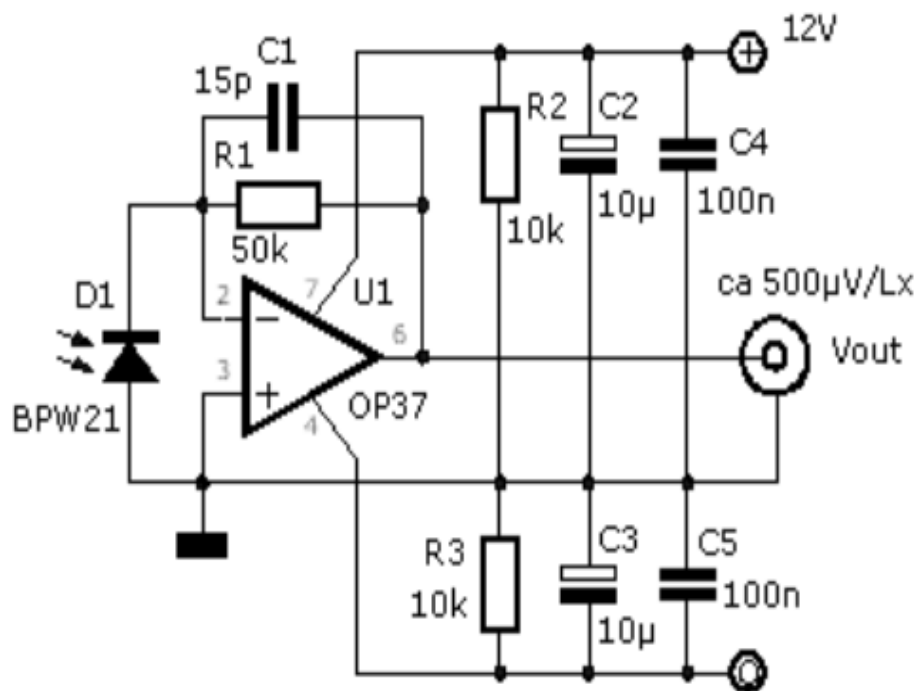


Рис. 1.4 Схема приладу на основі фотодіода BPW21

Фотодіод D1 розташований в зворотному порядку після інвертуючого підсилювача для отримання позитивного зчитування даних. Резистор зворотного зв'язку R1 надає схемі чутливість 500 мкВ/Лк та являється компромісом між шумом та швидкістю. Для стабільності підсилювача паралельно R1 розміщуються конденсатор C1. Інші резистори та конденсатори такі як R2, R3, C2, C3, C4, C5 створюють так зване штучне заземлення на половині напруги живлення [9].

Розглянемо електричну схему люксметра Ю116, який має два діапазони вимірювання:

- Від 5 до 30 лк.
- Від 20 до 100 лк.

При використанні трьох додаткових нейтральних світлофільтрів КМ, КР та КТ з коефіцієнтами 10, 100 та 1000, дає змогу отримати ще шість додаткових діапазонів для вимірювання. Електрична принципова схема приладу наведена на рис. 1.5. Прилад магнітоелектричної системи М 2027, стрілочний, змонтований в суцільному корпусі з кнопкою перемикання діапазонів вимірювання та з можливістю підключення фотоелемента, площа світлочутливої поверхні якого становить 30 см². Підключається він з допомогою шнура довжина якого становить 1.5 м.

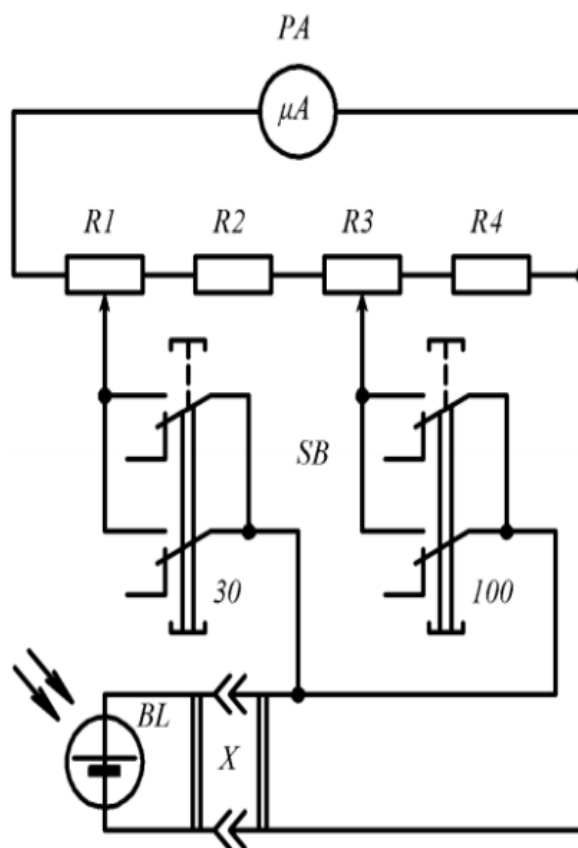


Рис. 1.5 Схема люксметра Ю116

Цей прилад має похибку вимірювання $\pm 10\%$ в основних діапазонах, без використання світлофільтрів, а з їх використанням похибка не перевищує $\pm 5\%$. Ще для цього приладу використовують насадки з світлорозсіювальними

можливостями для зниження косинусної похибки вимірювання, але їх застосовують тільки разом з нейтральними фільтрами. Блок DL на схемі являється фото-чутливим елементом, SD – кнопки для зміни діапазонів вимірювання, PA – стрілочний дисплей у вигляді амперметра.

Наступним розглянемо люксметр на основі плати Arduino Pro Mini на базі мікроконтролером ATmega328 з тактовою частотою 16 МГц. Плата має 14 цифрових та 8 аналогових входів, 16 КБ пам'яті та ще 2 КБ використовуються завантажувачем. Датчик BH1750 з вбудованим АЦП та інтерфейсом I2C який являється основою приладу. Мікроконтролер приймає дані з датчика які надсилаються у цифровому коді, після їх обробки результати виводяться на дисплей [10].

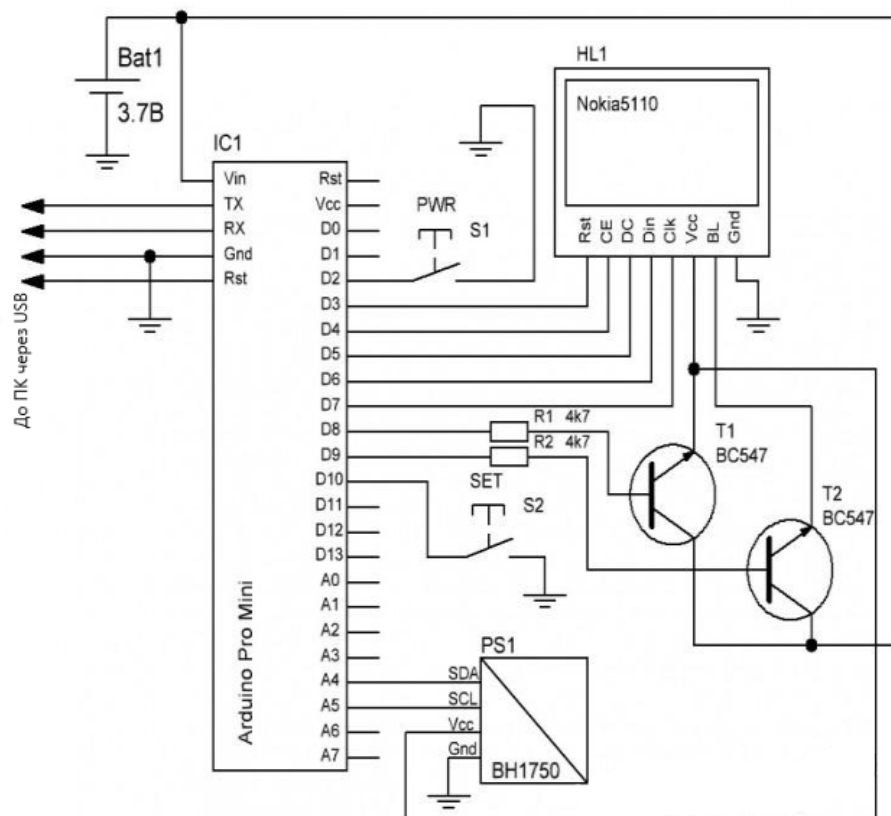


Рис. 1.6 Схема люксметра на основі плати Arduino Pro Mini

1.4 Пояснення вибору схеми та типу люксметра

Всі види люксметрів призначаються для проведення контролю людиною (оператором), яка повинна носити прилад, розміщувати його в правильному

положенні для зняття чітких та достовірних даних. За допомогою пристроїв які мають закріплений фотодетектор на корпусі, зручно проводити контроль в офісах, школах, лікарнях. Люксометри, що мають чутливий елемент на гнучкому дроті, зручно використовувати у складно-доступних місцях, на виробництвах, підприємствах.

Використання цих приладів у сільському господарстві викликає певні незручності [11].



Рисунок 1.7 Використання люксометра в теплиці

Контроль освітленості в теплицях потрібно проводити досить часто для правильного розподілу освітлення та створення комфортних умов для вирощування. Також потрібно на початковому етапі при висадженні рослин, впродовж їхнього росту та дозрівання контролювати рівень освітлення. Запропоновані вище прилади погано підходять для цієї задачі. Тому на основі вже існуючих приладів, було вирішено розробити свій власний пристрій, та вдосконалити його таким чином, щоб використання люксометрів у сільському господарстві стало зручним та ефективним.

1.5 Особливості майбутнього пристрою

За допомогою використання ряду датчиків, з'являються більші можливості приладу. За допомогою датчика кольору є можливість визначати відтінки листків рослин, що дасть змогу визначати яких елементів живлення не вистачає рослині. Нестача цих елементів суттєво знижує урожайність, погіршує його якість, впливає на ріст рослини.

Одним з таких необхідних елементів являється азот, при його нестачі гальмується ріст та розвиток рослини, проявляється у вигляді хлорозу. Листя набуває світло-зеленого кольору, з'являється пожовтіння на кінчиках листя. У колосових рослин сповільнюється куціння, також спостерігається раннє обпадання зав'язі, погіршення цвітіння (рис. 1.8).



Рис. 1.8 Дефіцит азоту на кукурудзі

При нестачі фосфору у ґрунті в рослин погано розвивається коренева система, погіршується ріст та розвиток. Листя спочатку набуває темно-зеленого кольору, а згодом синювато-бузкового відтінку, також по краях листків може спостерігатися поява червоно-бурого, жовто-бурого забарвлення. Пригнічується ріст, цвітіння та дозрівання настають з великим запізненням, порушується білковий обмін рослини (рис. 1.9).



Рис. 1.9 Дефіцит фосфору на кукурудзі

Нестача магнію у рослин погіршує синтез хлорофілу, проявляється появою сірих плям на листі, також у вигляді хлорозу біля основних жилок листка. У різних рослин забарвлення змінюється по різному, від червоно-фіолетового до жовтувато-оранжевого, але при цьому сама жилка залишається зеленою. Через це рослини починають відставати у рості, сповільнюється цвітіння, листя стає ламким(рис. 1.10).



Рис. 1.10 Дефіцит магнію на кукурудзі

Нестача вологості та освітлення також викликають помітні зміни у рослин які потрібно фіксувати та вирішувати.

					ПК61_14_00_00_00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Джерела ІЧ випромінювання використовуються у сільському господарстві для вирішення цілого ряду задач. ІЧ випромінювання сприяє швидшому цвітінню та дозріванню плодів, стимулює ріст рослини. Також його використовують для підтримання потрібної температури, обігрів саджанців та інше. Для цього використовують джерела інфрачервоного випромінювання в якості яких виступають різні типи ламп розжарювання. На ІЧ область спектра випромінювання ламп розжарювання, припадає приблизно 60% – 80%. Тому з цього можна зробити висновок, що будь яка лампа може являтися джерелом інфрачервоного випромінювання. Відповідно ІЧ випромінювання потрібно контролювати.

За допомогою ультразвукового вимірювача довжини, буде легко розмістити прилад у теплиці. Також цей датчик використовують з люксометром для контролю світлового потоку джерел випромінювання. Для точного контролю, прилад потрібно віднести на певну відстань, так як освітленість поверхні в 1 м^2 дорівнює світловому потоку.

Контроль потрібно проводити досить часто та на різних ділянках, для спрощення цього процесу було вирішено використати бездротову передачу даних. Таке рішення дасть змогу виставити прилади в теплиці на певній дистанції, та з будь якого смартфона або ПК підключатися до системи і безперешкодно отримувати всі необхідні дані [12].

1.6 Висновки до розділу

У першому розділі проведено аналіз різноманітних сфер застосування люксометрів, фізичні основи енергетичних та світлових величин, проаналізовані сучасні моделі люксометрів, їх принцип роботи та електричні схеми вже існуючих приладів. В результаті проведеного аналізу обрано схему та тип люксометра для автоматизації, описано особливості майбутнього пристрою.

					<i>ПК61_14_00_00_00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

РОЗДІЛ 2. ПІДБІР ФУНКЦІОНАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ

Проаналізувавши засоби розробки приладів такого типу було обрано «плату Adafruit METRO Arduino-Compatible» як основну, для вимірювання яскравості датчик GY – 302, для вимірювання відстані розташування HC – SR04 , датчик KY – 026 для вимірювання ІЧ випромінювання та виявлення вогню, для визначення кольору датчик TCS230, для бездротової передачі Bluetooth модуль HC-06 та для керування усіма цими датчиками було обрано сенсорну кнопку (датчик дотику). Все це дасть змогу побудування ефективний та повнофункціональний пристрій.

2.1 Розробка функціональної схема люксметра вибраного типу

Розроблено функціональну схему новітнього люксметра з додаванням різноманітних функцій та можливостей (рис. 1.8).

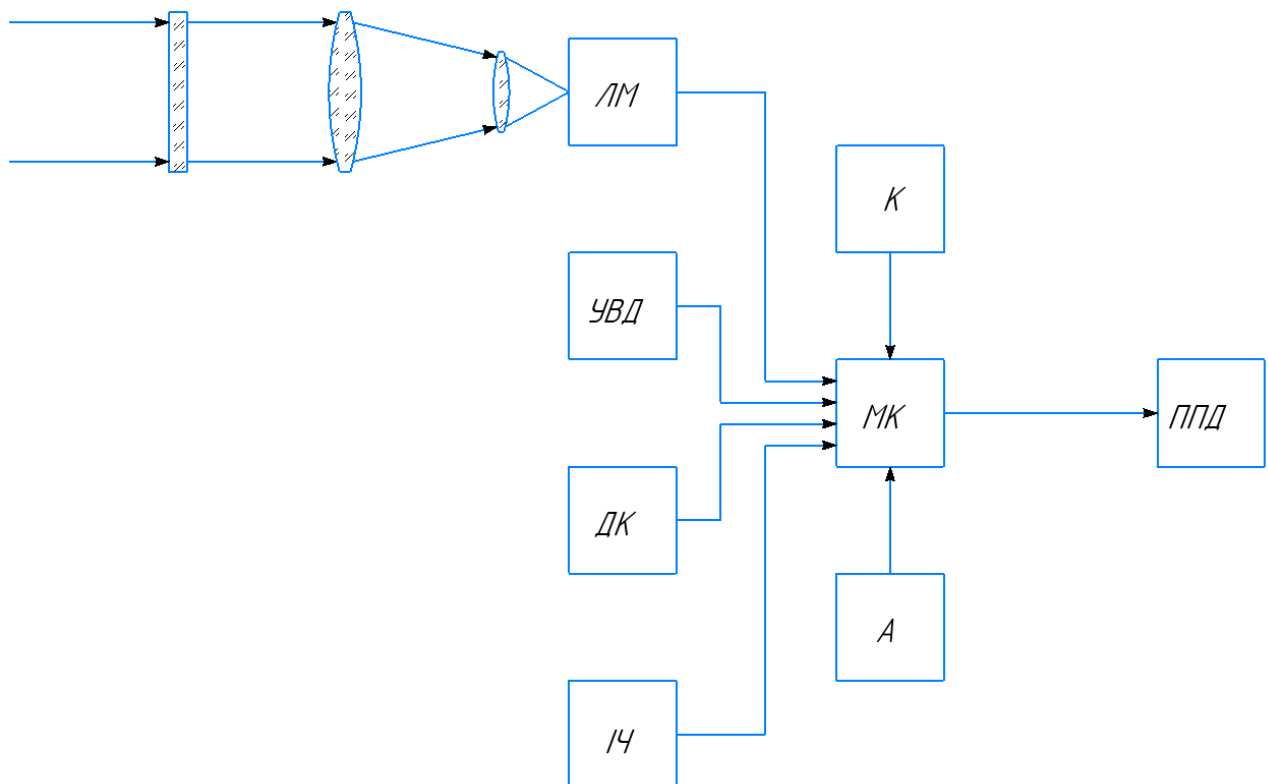


Рис. 2.1 Функціональна схема пристрою

МК – мікроконтролер (плата Arduino)

ЛМ – люксметр

ДК – датчик кольору

УВД – ультразвуковий вимірювач дистанції

ІЧ – датчик інфрачервоного діапазону випромінювання

ППД – пристрій передачі даних (Bluetooth)

К – кнопка (вмикання та вимикання різних датчиків)

А - акумулятор

Для виконання більшої кількості задач у сільському господарстві було додано нові можливості пристрою. На люкметр встановлено оптичну систему, яка включає в себе дві збиральні лінзи та молочне скло (фільтр, з певним коефіцієнтом пропускання світла), з допомогою цього скла можна збільшити діапазон вимірювання в декілька разів.

2.2 Моделювання оптичної системи пристрою

Моделювання оптичної системи будемо проводити в середовищі Zemax, для цього необхідно:

1. Задати до таблиці конструктивних параметрів наступні дані:
 - радіус кривизни оптичних поверхонь (Radius);
 - відстань між оптичними поверхнями (Thickness);
 - оптичний матеріал (Glass).

Surf>Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter	Conic
OBJ	Standard	Infinity	Infinity		Infinity	0.000
STO	Standard	Infinity	2.000 V	LZ_K8	7.500	0.000
2	Standard	Infinity	5.000 V		7.558	0.000
3	Standard	24.535 V	4.805 V	LZ_K8	7.832	0.000
4	Standard	-20.132 V	8.246 V		7.663	0.000
5	Standard	24.590 V	1.359 V	LZ_F8	3.741	0.000
6	Standard	-20.052 V	4.755 V		3.515	0.000
IMA	Standard	Infinity	-		1.222	0.000

Рис. 2.2 Конструктивні параметри системи

2. Задаємо діаметр вхідної зіниці для системи 15 мм. Далі вона автоматично розраховує світлові радіуси оптичних поверхонь (Semi-Diameter).
3. Необхідно вказати спектральний діапазон системи, це довжини хвиль на яких виконується аналіз характеристик системи. Оптична система буде

використовуватись у видимому діапазоні оптичного випромінювання (0,35 – 0,75 мкм).

4. Вказуються кути поля зору системи на яких буде проводитися аналіз.
5. Фокусування системи та оптимізація.

В результаті проведених дій, ми отримуємо зовнішній вигляд оптичної системи, це тривимірне пустотіле зображення (рис. 2.3) та тіньова модель системи в якій можливо обрати різні способи відображення (рис. 2.4).

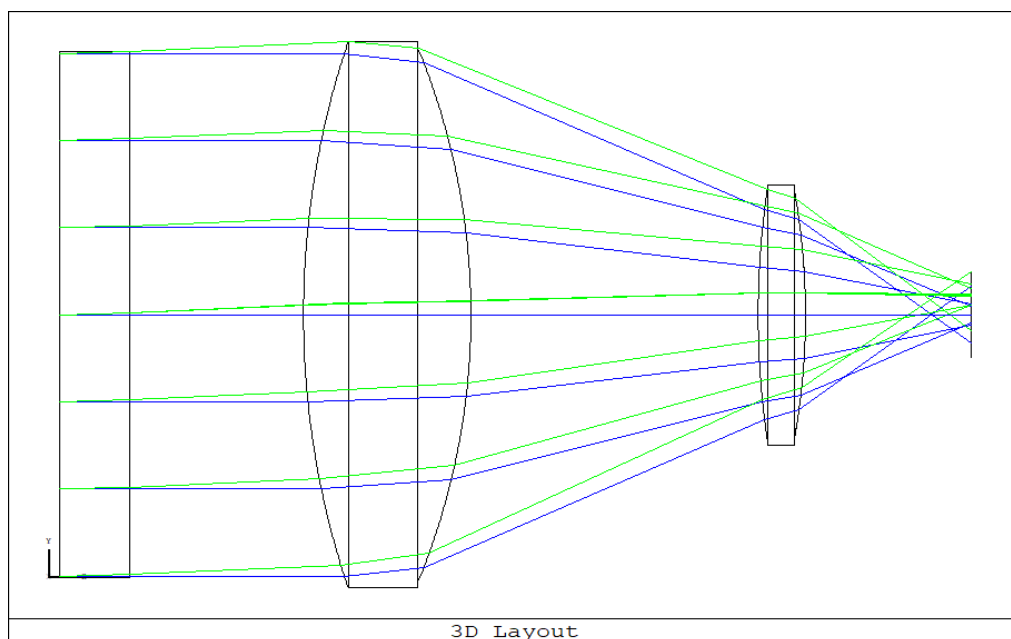
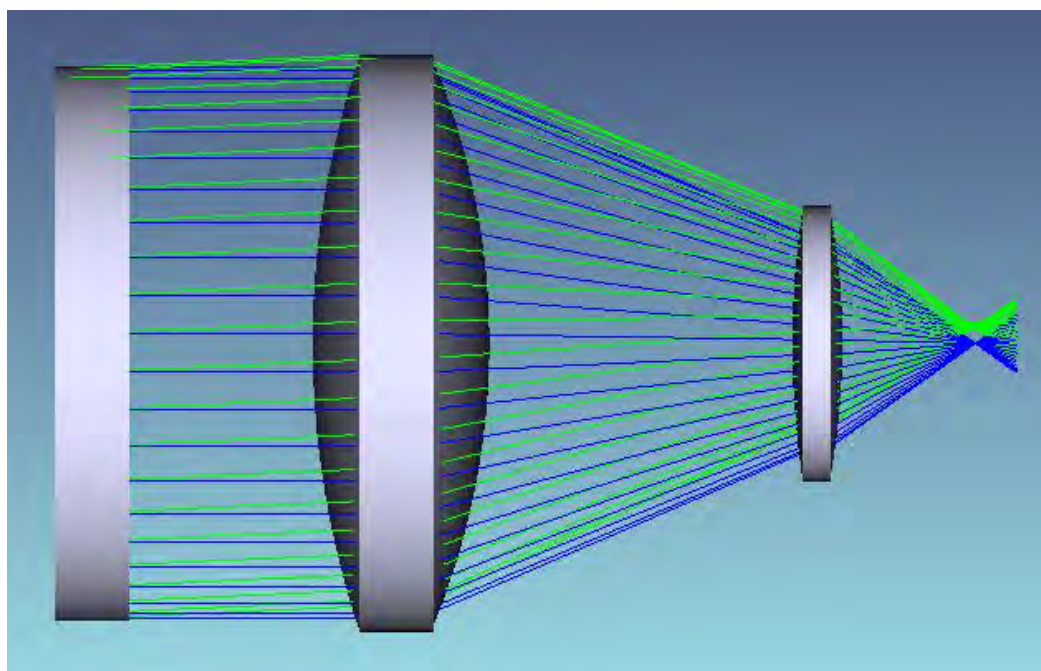


Рис.2.3 Тривимірне пустотіле зображення системи



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПК61_14_00_00_00 ПЗ

Арк.

35

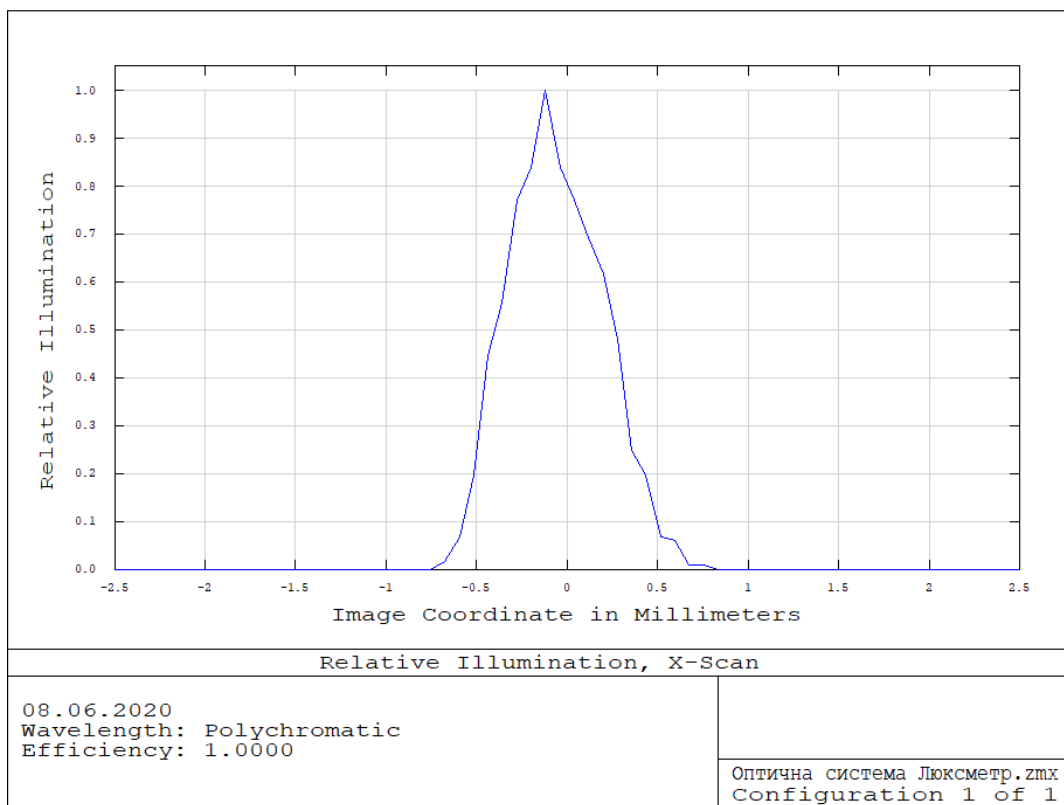
Рис. 2.4 Тіньова модель системи

Дуже важливою умовою гарної роботи оптичної системи є узгодження розміру чутливої площадки приймача випромінювання та розміру зображення системи. Необхідно щоб весь корисний потік, тобто більше 99% випромінювання, фокусувався оптичною системою на чутливій площадці приймача. Якщо ж система фокусуватиметься на якійсь певній частині приймача, то на іншу частину будуть впливати лише шуми, в результаті чого пристрій працюватиме не правильно.

За допомогою функції (illumination) можна визначити залежність розміру площадки приймача від рівня концентрації випромінювання.

Функції фокусується випромінювання на площадці приймача:

- Illumination XY Scan (відображає двомірний графік даної залежності) (рис. 2.5).
- Illumination 2D Surface (відображає площадку яка має колірну індикацію рівня концентрації випромінювання) (рис. 2.6).



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПК61_14_00_00_00 ПЗ

Арк.

36

Рис. 2.5 Функція Illumination XY Scan

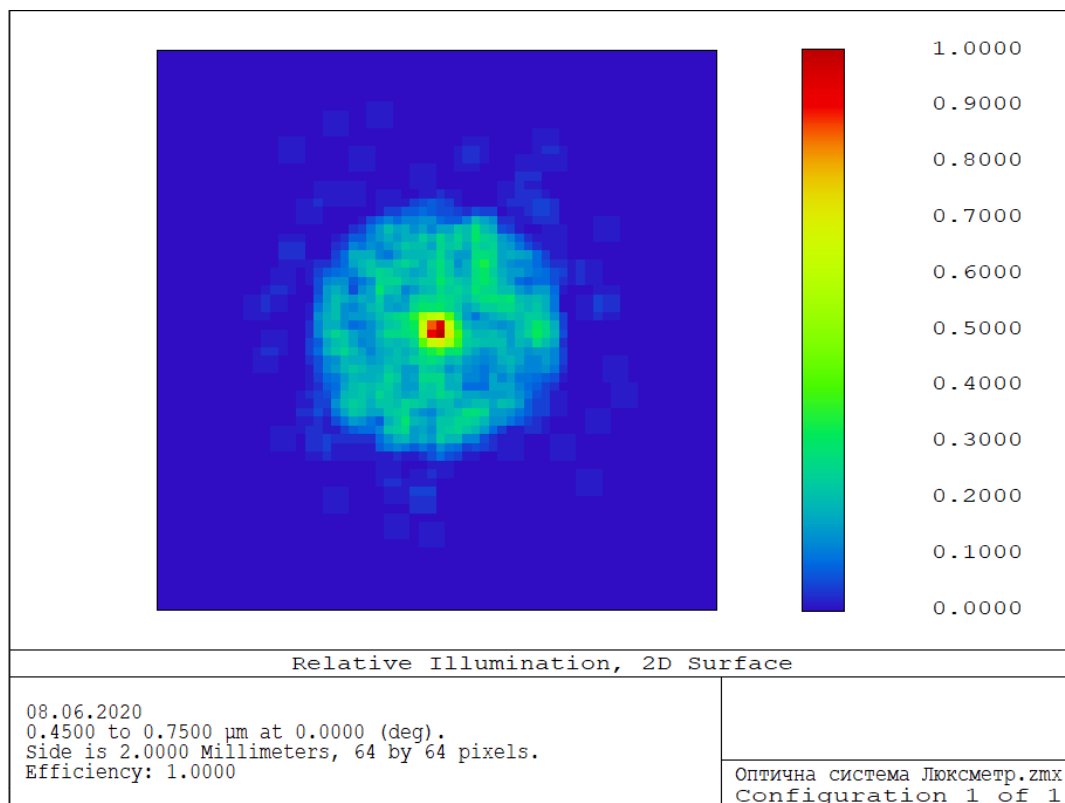


Рис. 2.6 Функція Illumination 2D Surface

Під графіками зображено значення ефективності (Efficiency) концентрації випромінювання для розміру нашого приймача, яке становить 100%. Тобто наша система працюватиме ідеально.

2.3 Розрахунок освітленості на площадці приймача випромінювання

Для того щоб розрахувати освітленість на площадку приймача випромінювання, необхідно задатися вхідними значеннями та враховувати коефіцієнти поглинання які впливають має оптична система [13].

- Площа приймача випромінювання: $S = 0.001 = 10^{-3} \text{ (м}^2\text{)}$;
- Коефіцієнт поглинання оптичною системою: $k = 0.9$;
- Коефіцієнт поглинання фільтром (молочним склом): $n = 0.76$.

Розрахунки будуть проводитись для різних джерел випромінювання за формулою (11), враховуючи коефіцієнти поглинання формула матиме вигляд (14):

$$E = \frac{\Phi \cdot k \cdot n}{S} \quad (14)$$

1. Світлодіодна лампа LED EUROLAMP



Рис. 2.7 Світлодіодна лампа

Характеристики:

- Тип цоколя: E27;
- Потужність: 12 Вт;
- Яскравість (світловий потік): 1200 Лм;
- Колірна температура: 4000 К (білий нейтральний);
- Напруга живлення: 175 – 250 (В).

$$E = \frac{1200 \cdot 0.9 \cdot 0.76}{0.001} = 820\,800 \text{ (Лк)}$$

2. Люмінесцентна лампа Philips Tornado T2



Рис. 2.8 Люмінесцентна лампа

Характеристики:

- Тип цоколя: E27;
- Потужність: 12 Вт;

- Яскравість (світловий потік): 740 Лм;
- Колірна температура: 2700 К;
- Напруга живлення: 175 – 250 (В).

$$E = \frac{740 \cdot 0.9 \cdot 0.76}{0.001} = 506\,160 \text{ (Лк)}$$

3. Лампа розжарювання CLAS A CL



Рис. 2.9 Лампа розжарювання

Характеристики:

- Тип цоколя: E27;
- Потужність: 40 Вт;
- Яскравість (світловий потік): 415 Лм;
- Колірна температура: 2700 К;
- Напруга живлення: 175 – 250 (В).

$$E = \frac{415 \cdot 0.9 \cdot 0.76}{0.001} = 283\,860 \text{ (Лк)}$$

4. Над-яскравий світлодіод Epistar LED BIN1



Рис. 2.10 Над-яскравий світлодіод

Характеристики:

- Потужність: 1 Вт;
- Яскравість (світловий потік): 120 Лм;
- Колірна температура: 6500 К;
- Напруга живлення: 3 – 3.6 (В).

$$E = \frac{120 \cdot 0.9 \cdot 0.76}{0.001} = 82\,080 \text{ (Лк)}$$

2.4 Вибір мікроконтролера та його характеристик

Завдання підбору компонентів для подальшого проектування електричної схеми є досить важливим. Потрібно враховувати всі параметри, як датчиків так і мікроконтролера. Характеристики повинні бути оптимальними для нормальної роботи приладу, але деталі повинні бути досить не дорогими для того щоб даний прототип міг конкурувати з вже існуючими приладами по характеристиках, якості, ціні, та зручності використання. В сучасному світі електротехніка досить швидко розвивається, з'являються все нові і нові технології. Існує велика кількість різновидів датчиків та контролерів з яких потрібно обрати ті які найбільше нам підходять [14].

В якості плати керування було обрано Adafruit METRO Arduino-Compatible, це суцільна фізично-обчислювальна плата. В основі плати, мікроконтролер ATmega328P з частотою роботи в 16 МГц, чудово сумісний з середовища розробки Arduino IDE. Процесор має велику кількість цифрових, аналогових виходів, апаратних I2C і UART SPI, таймерів. Ця плата добре підходить для великої кількості різноманітних проектів.

					<i>ПК61_14_00_00_00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40



Рис. 2.11 Плата Arduino

Загальні характеристики:

- Вхідна напруга становить 7 – 9 В, рекомендується живлення постійним струмом з напругою у 9 В.
- Програмування здійснюється через USB, налагодження через CP2104.
- Регулятор в 5 В може подавати пік у 800 мА.
- Регулятор в 3.3 В може подавати пік у 150 мА.
- 5 В логіка роботи може бути перетворена на 3.3 В.
- Плата має 20 входів та виходів, з яких 6 аналогових та 6 PWM.
- Для програмування має шести контактний ISP.
- Наявні 32 Кб пам'яті, на завантаження використовується 0.5 Кб.
- Тактова швидкість роботи становить 16 МГц.
- Розміри: 53 мм на 71 мм та 2.1 мм.
- Вага: 19 г.

2.5 Вибір датчика освітленості та його характеристик

Датчик освітленості GY – 302 на основі чіпу BH1750, цифровий, призначений для вимірювання освітленості. Має досить високу чутливість, спектр якої збігається з чутливістю людського ока [15].



Рис. 2.12 Датчик BH1750

Характеристики обраного датчика:

- Тип: GY – 302.
- Основний чіп: BH1750FVI ROHM.
- Має вбудований АЦП та сенсор.
- Не має чутливості до фонового світла.
- Не потребує додаткового калібрування та складних обчислень.
- Точність вимірювання в широкому діапазоні становить 1 люкс.
- Живлення від напруги 3 – 5 (В).
- Діапазон вимірювання 0 – 65535 (лк).
- Інтерфейс I2C.
- Розміри датчика: 13.9 мм на 18.5 мм.

2.6 Вибір датчика ІЧ випромінювання та його характеристики

Датчик KY – 026, модуль інфрачервоного випромінювання, що має додаткову функцію для виявлення вогню, яку можна з легкістю приєднати до пожежної системи. У разі виявлення вогнища, автоматично включатиметься система пожежогасіння та надходитиме сповіщення. Датчик працює по двох окремих виходах, один з яких вимірює та передає дані ІЧ випромінювання в аналоговому форматі, а інший (виявлення полум'я) передає дані у цифровому вигляді. Для того щоб надійно закріпити датчик, на ньому передбачено отвір.

					ПК61_14_00_00_00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

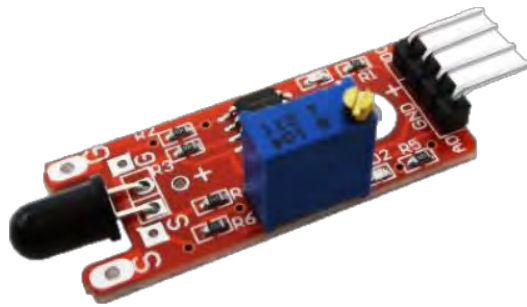


Рис. 2.13 Датчик КУ – 026

Характеристики:

- Працює в ближньому ІЧ діапазоні, довжина хвилі 760 – 1100 (Нм).
- Наявний регулятор чутливості.
- Робоча напруга 3.3 – 5 (В).
- Виявлення полум'я на відстані 80 см.
- Кит роботи становить 60°
- Побудований на компараторі LV393.

2.7 Вибір датчика кольору та його характеристики

Датчик кольору TCS230 на одній КМОП-мікросхемі включає в себе кремнієві фотодіоди з можливістю їх налаштування та перетворювач струм-частота. Вихідна частота датчика може бути розширеною за допомогою зміни одного з трьох наявних значень, які подаються через два вхідних контакти. До мікросхеми підключається з допомогою цифрових входів та виходів.



Рис. 2.14 Датчик TCS230

Характеристики:

- Тип чіпу TCS230

					ПК61_14_00_00_00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

- Напруга живлення: 3 – 5 (В).
- Оптимальна відстань для визначення кольору становить 10 мм.
- Високоякісне перетворення інтенсивності світла в частоту.
- Можливість програмування кольорів.
- Розміри: 30 мм на 24 мм.

2.8 Вибір датчика вимірювання дистанції та його характеристики

Ультразвуковий датчик HC – SR04, дуже точний та стабільний, не має сліпих зон. Вимірює відстань від 0 до 1500 мм.



Рис. 2.15 Датчик HC – SR04

Характеристики:

- Точність вимірювання 3 мм.
- Напруга живлення: 3.8 – 5.5 (В).
- Частота роботи 40 кГц.
- Максимальна дистанція 1.5 м.
- Ширина імпульсів становить 10 мкс.
- Кут складає 15°.
- Габаритні розміри: 37 × 20 × 15 мм.

2.9 Вибір модуля для бездротової передачі даних

Для вирішення цієї задачі було обрано Bluetooth модуль HC-06. Працює в пасивному режимі, потрібно підключити пристрій до модуля через Bluetooth, все що буде надіслано з ПК або телефона з'явиться на Arduino, та все що буде

					<i>ПК61_14_00_00_00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

передано платою виводитиметься на пристрій. За допомогою певних команд, модуль можна налаштувати за необхідності, наприклад: ім'я, pin-код, швидкість передачі даних.



Рис. 2.16 Датчик Bluetooth модуля HC-06

Характеристики:

- Напруга живлення: 5 В.
- Швидкості передачі:
 - 1) 1200
 - 2) 2400
 - 3) 4800
 - 4) 9600 (за замовчуванням)
 - 5) 19200
 - 6) 38400
 - 7) 57600
 - 8) 115200
 - 9) 230400

2.10 Вибір датчика дотику

Також для включення та виключення певних датчиків обрано компактну версію сенсорної кнопки ємнісного типу. Цей датчик дотику замінює звичайні кнопки та має переваги у можливостях та зручності використання. Реагує на прямі дотики до плати та через певний діелектричний шар (пластик, скло). В

основі модуля лежить мікросхема ТТР223В. Також чутливість кнопки можна змінювати всього лише замінивши конденсатор на платі.

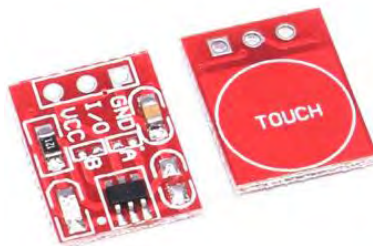


Рис 2.17 Датчик дотику

З огляду на детальні характеристики та цінові параметри, підбір всіх елементів успішно виконано.

2.11 Висновки до розділу

В даному розділі розроблено функціональну схему, проведено модулювання оптичної системи пристрою та розрахунки освітленості різних джерел на приймач випромінювання. Також проведено підбір функціональних компонентів за певними характеристиками та їх можливостями. Обрано мікроконтролер, датчик освітленості, датчик інфрачервоного випромінювання, датчик кольору, ультразвуковий вимірювач відстані, датчик дотику та модуль для бездротової передачі даних. Все це необхідно для подальшої повноцінної розробки пристрою.

					<i>ПК61_14_00_00_00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

РОЗДІЛ 3. ПІДКЛЮЧЕННЯ ТА ПЕРЕВІРКА ЕЛЕМЕНТІВ

Для підключення та перевірки датчиків потрібно, розробити електричні схеми підключення, програмне забезпечення та провести калібрування тих сенсорів, які це потребують.

3.1 Підключення та розробка програмного забезпечення для датчика освітленості

Модуль датчика має 5 контактів:

- VCC – живлення 5 В;
- GND – земля;
- SCL – дані I2C;
- SDA – синхронізація I2C;
- ADDR – вибір адреси для протоколу I2C.

Таблиця 3.1. Підключення датчика до плати проводимо

BH1750	Arduino
VCC	5 V
GND	GND
SCL	SCL
SDA	SDA
ADDR	–

Вихід ADDR використовують при підключенні декількох таких датчиків до однієї плати. В нашому випадку використовуватися не буде. Схема підключення наведена нижче.

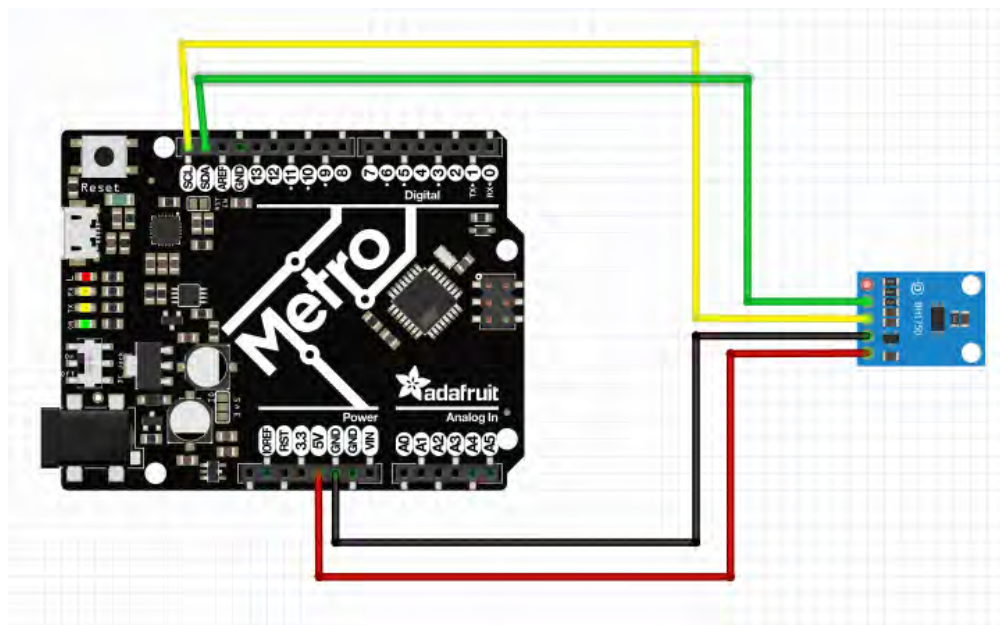


Рис. 3.1 Схема підключення датчика BH1750

Для роботи з датчиком потрібно завантажити бібліотеку. Перш ніж почати роботу з кодом, підключаємо бібліотеки які будемо використовувати:

```
#include "Wire.h"      – бібліотека для використання інтерфейсу I2C;
#include "BH1750.h"    – бібліотека для роботи з датчиком.
```

Далі необхідно створити об'єкт датчика та надати йому ім'я:
BH1750 lightMeter;

Тепер переходимо до функції setup(). Оголошуємо швидкість роботи з вікном прийому даних та запускаємо зв'язок по I2C:

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  lightMeter.begin();
}
```

Розглянемо функцію loop(), в якій ми проводимо зчитування даних з датчика та вивід їх на монітор ПК.

```
void loop()
{
  uint16_t lux = lightMeter.readLightLevel();
```

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата


```

Serial.print("Light: ");
Serial.print(lux);
Serial.println(" lx");
delay(500);
}

```

3.2 Підключення та розробка програмного забезпечення для ультразвукового датчика

На датчику розміщені випромінювач, приймач та керуюча електронна схема. В момент виміру за допомогою генератора, створюється електричне коливання, яке перетворюється в ультразвукову хвилю та випромінюється в простір. При появі на своєму шляху якоїсь перешкоди, хвиля відбивається та повертається в приймач як відлуння. Проаналізувавши час проходження хвилі туди і назад, визначається відстань до об'єкта.

Датчик має 4 контакти:

- VCC – живлення;
- TRIG – вхід TRIG;
- ECHO – вихід ECHO;
- GND – земля.

Таблиця 3.2. Підключення датчика до плати

HC – SR04	Arduino
VCC	5 V
TRIG	D3
ECHO	D2
GND	GND

Вихід TRIG можна підключати до будь-якого виходу плати, на нього подається імпульсний цифровий сигнал. За цим сигналом на вхід TRIG посилаються ультразвукові імпульси, після прийому відбитого від перешкоди

сигналу, датчик формує на вихід ЕСНО імпульсний сигнал. Його тривалість пропорційна відстані до об'єкта.

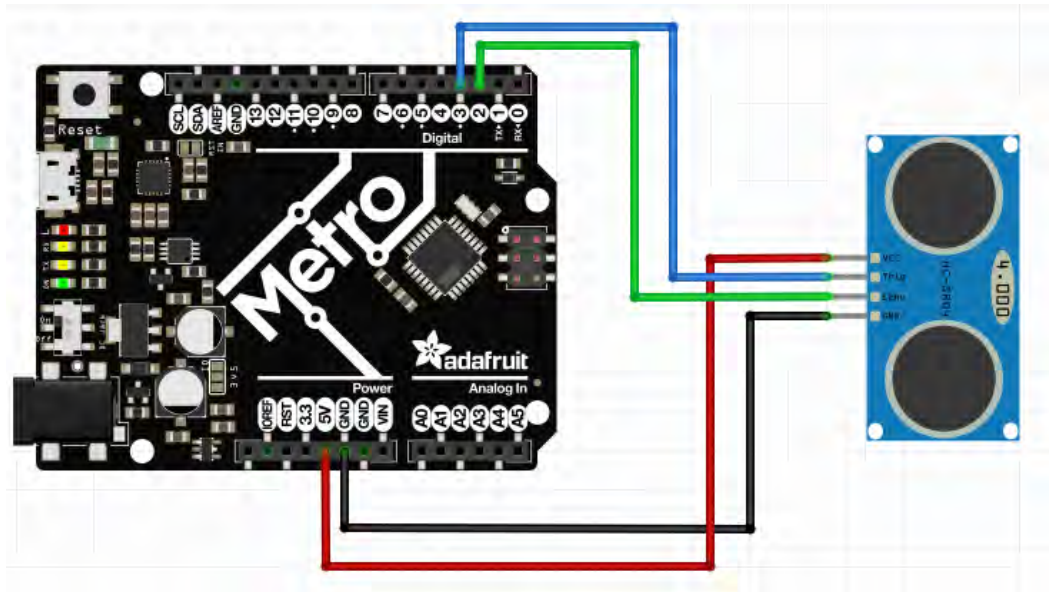


Рис.3.2 Схема підключення датчика HC – SR04

Розглянемо програмну частину. Для початку вказуємо до яких виходів ми підключаємось:

```
int echoPin = 2;  
int trigPin = 3;
```

Встановлюємо швидкість роботи порту та оголошуємо що являється входом, а що виходом.

```
void setup()  
{  
  Serial.begin (9600);  
  pinMode(trigPin, OUTPUT);  
  pinMode(echoPin, INPUT);  
}
```

У циклі loop() передаємо імпульс на вхід trig, цей імпульс триває 10 мкс, вимикаємо подачу імпульсу, приймаємо імпульс та підраховуємо його довжину, переводимо його значення в сантиметри та виводимо.

```
void loop()
```

```

{
  int duration, cm;
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  cm = duration / 58;
  Serial.print(cm);
  Serial.println(" cm");
  delay(100);
}

```

3.3 Підключення та розробка програмного забезпечення для інфрачервоного датчика

Датчик має 4 контакти:

- VCC – живлення;
- Digital – цифровий вихід;
- Analog – аналоговий вихід;
- GND – земля.

Таблиця 3.3. Підключається до плати

KY – 026	Arduino
VCC	5 V
Digital	D2
Analog	A0
GND	GND

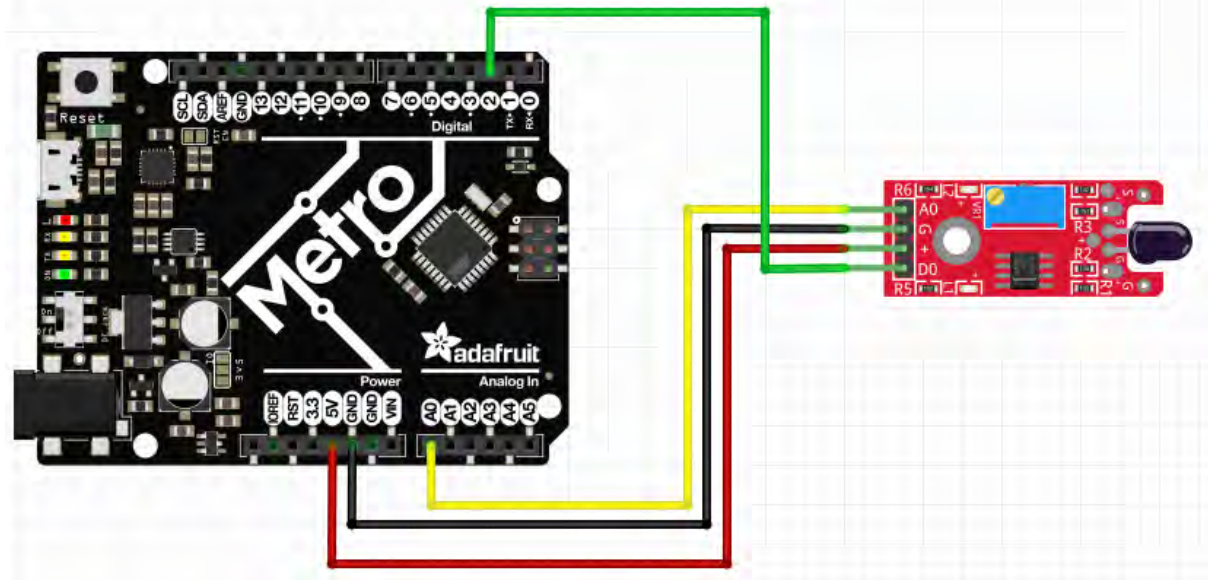


Рис. 3.3 Схема підключення датчика KY – 026

Написання коду для роботи з датчиком розпочинається з оголошення місця підключення контактів та створення двох змінних для них:

```
int digitalPin = 2;
int analogPin = A0;
int digitalVal;
int analogVal;
```

Встановлюємо швидкість передачі з якою будемо працювати:

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}
```

В циклі loop(), зчитуємо значення з аналогового виходу та виводимо на монітор, перевіряємо в якому режимі цифровий вихід, коли з'являється значення HIGH, це означає що датчик виявив полум'я, та попереджує про нього.

```
void loop()
{
  analogVal = analogRead(analogPin);
  Serial.println(analogVal);
  digitalVal = digitalRead(digitalPin);
```

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

```

if(digitalVal == HIGH){
  Serial.println("Fireeee");
}
delay(500);
}

```

3.4 Підключення та розробка програмного забезпечення датчика кольору

Датчик TCS230 розміщений по центру плати, складається з чотирьох видів фотодіодів:

- 16 діодів без світлофільтра;
- 16 з зеленим фільтром;
- 16 з синім фільтром;
- 16 з червоним фільтром.

Датчик перетворює дані фотодіодів у хвилю з частотою яка пропорційна інтенсивності світла обраного кольору.

Датчик має 8 контакти:

- VCC – живлення;
- GND – земля;
- OE – контакт включення;
- S0, S1 – налаштування масштабування частоти імпульсу;
- S2, S3 – вхідний сигнал налаштування фільтрів;
- OUT – вихідна частота.

Таблиця 3.4. Підключається до Arduino наступним чином

TCS230	Arduino
VCC	5 V
GND	GND
OUT	D8

OE	D3
S0	D4
S1	D5
S2	D6
S3	D7

Контакти S2, S3 використовуються для визначення кольору, що зчитується фотодіодами. Оскільки вони підключені паралельно, перемикаючи ці контакти можна обирати різні типи світлодіодів за допомогою присвоєння їм різних станів LOW або HIGH.

Контакти S0, S1 потрібні для зміни масштабу вихідної частоти. Цю функцію часто використовують для роботи з різними мікроконтролерами, для оптимізації даних. Має три заданих значення: 100%, 20%, 2%. На рисунку наведена схема підключення всіх контактів.

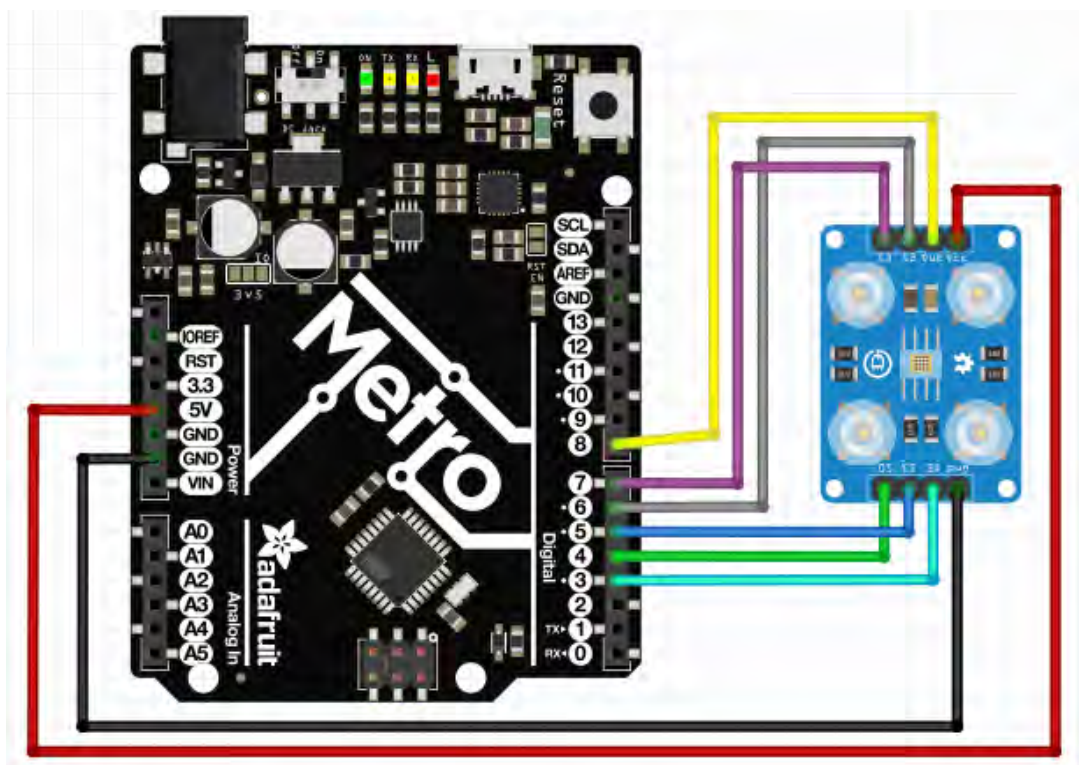


Рис. 3.4 Схема підключення датчика TCS230

Таблиця 3.5. Правила вибору налаштувань

Тип фотодіода	S2	S2
---------------	----	----

Червоний	LOW	LOW
Синій	LOW	HIGH
Без фільтра (чистий)	HIGH	LOW
Зелений	HIGH	LOW
Масштабування частоти	S0	S1
Відключення	LOW	LOW
2%	LOW	HIGH
20%	HIGH	LOW
100%	HIGH	HIGH

Будемо використовувати масштабування 20%.

Для кожного кольору потрібно провести індивідуальні налаштування, за допомогою однієї програми ми вимірюємо частоти кольорів та записуємо ці данні в іншу програму. Це робиться для того щоб навчити датчик розпізнавати певний колір або його відтінок. Дана програма вміє визначати три кольори: синій, червоний і зелений. Для того щоб збільшити їхню кількість, необхідно провести збір даних з кожного кольору індивідуально. Розглянемо код цієї програми більш детально.

Проводимо підключення контактів:

```
#define S0 4
```

```
#define S1 5
```

```
#define S2 6
```

```
#define S3 7
```

```
#define sensorOut 8
```

Створюємо змінні для зберігання значень частоти зчитування фотодіодів та значень кольорів:

```
int redFrequency = 0;
int greenFrequency = 0;
int blueFrequency = 0;
int redColor = 0;
int greenColor = 0;
int blueColor = 0;
```

Далі у функції `setup()` проводимо налаштування виходів, встановлення `sensorOut` в якості входу та масштабування частоти на 20%, а також зв'язок з портом.

```
void setup() {
  pinMode(S0, OUTPUT);
  pinMode(S1, OUTPUT);
  pinMode(S2, OUTPUT);
  pinMode(S3, OUTPUT);
  pinMode(sensorOut, INPUT);
  digitalWrite(S0,HIGH);
  digitalWrite(S1,LOW);
  Serial.begin(9600);
}
```

Переходимо до циклу `loop()`:

```
void loop() {
```

Проводимо налаштування фотодіодів з фільтром червоного кольору:

```
digitalWrite(S2,LOW);
digitalWrite(S3,LOW);
```

Проводимо зчитування вихідної частоти:

```
redFrequency = pulseIn(sensorOut, LOW);
```

Призначаємо значення частоти червоного кольору від 0 до 255:

```
redColor = map(redFrequency, 70, 120, 255,0);
```

Виводимо значення червоного кольору:

```
Serial.print("R = ");
```



```
Serial.print(redColor);
```

```
delay(100);
```

Налаштування фотодіодів з фільтром зеленого кольору:

```
digitalWrite(S2,HIGH);
```

```
digitalWrite(S3,HIGH);
```

Зчитуємо вихідну частоту:

```
greenFrequency = pulseIn(sensorOut, LOW);
```

Присвоюємо значення частоти зеленого кольору від 0 до 255:

```
greenColor = map(greenFrequency, 100, 199, 255, 0);
```

Виводимо значення зеленого кольору:

```
Serial.print(" G = ");
```

```
Serial.print(greenColor);
```

```
delay(100);
```

Налаштування фотодіодів з фільтром синього кольору:

```
digitalWrite(S2,LOW);
```

```
digitalWrite(S3,HIGH);
```

Зчитуємо вихідну частоту:

```
blueFrequency = pulseIn(sensorOut, LOW);
```

Присвоюємо значення частоти синього кольору від 0 до 255:

```
blueColor = map(blueFrequency, 38, 84, 255, 0);
```

Виводимо значення синього кольору:

```
Serial.print(" B = ");
```

```
Serial.print(blueColor);
```

```
delay(100);
```

Виконуємо перевірку на визначення кольору та виводимо повідомлення про нього:

```
if(redColor > greenColor && redColor > blueColor){
```

```
    Serial.println(" - RED detected!");
```

```
}
```

```
if(greenColor > redColor && greenColor > blueColor){
```

					<i>ПК61_14_00_00_00_ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

```

Serial.println(" - GREEN detected!");
}
if(blueColor > redColor && blueColor > greenColor){
  Serial.println(" - BLUE detected!");
}
}

```

3.5 Підключення Bluetooth модуля

Всі елементи для створення даного проекту підбиралися по індивідуальних параметрах, не виключенням став і датчик для бездротової передачі даних. Плата має спеціально відведені порти для підключення даного модуля.

Датчик має 4 контакти:

- VCC – живлення;
- RXD – для прийому даних;
- TXD – для передачі даних;
- GND – земля.

Таблиця 3.6. Підключається модуль до плати наступним чином:

HC-06	Arduino
VCC	5 V
RXD	TXD
TXD	RXD
GND	GND

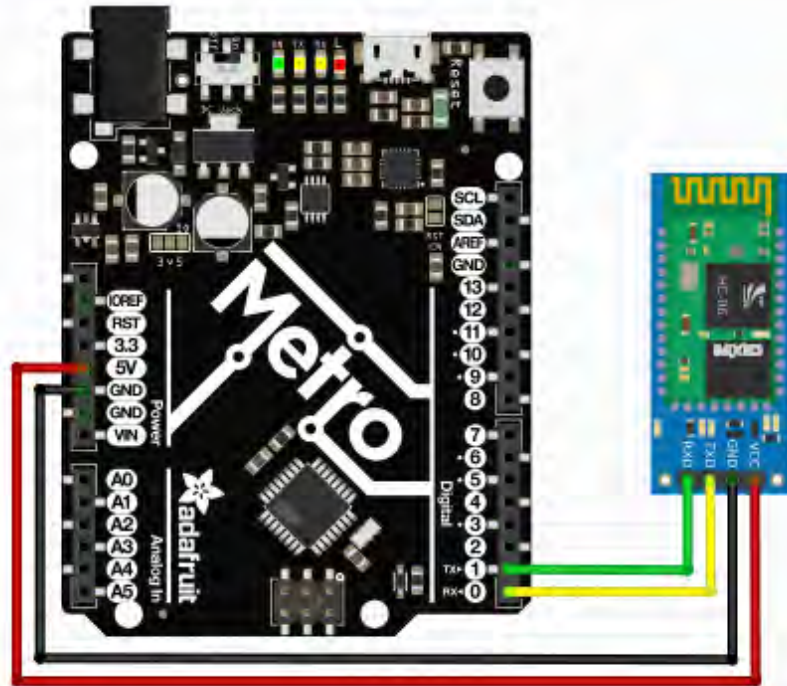


Рис. 3.5 Схема підключення HC – 06

3.6 Висновки до розділу

В третьому розділі проведено підключення та перевірку роботи елементів. Сформовано таблиці та розроблено індивідуальні схеми підключення усіх компонентів майбутнього пристрою до мікроконтролера який буде виконувати керування ними. Також, розроблено програмне забезпечення та проведено налаштування та калібрування усіх елементів.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ

4.1 Моделювання та підключення пристрою

Розробку пристрою необхідно почати з створення таблиці та схеми підключення для всіх датчиків у відповідні порти плати керування.

Таблиця 4.1. Підключення сенсорів до плати

Порти для підключення Arduino	Елемент підключення та його контакти
	ВН1750
5V	VCC
GND	GND
SCL	SCL
SDA	SDA
-	ADDR
	HC – SR04
5V	VCC
D12	TRIG
D11	ECHO
GND	GND
	KY – 026
5V	VCC
D13	Digital
A5	Analog
GND	GND
	TCS230
5V	VCC
GND	GND
D7	OUT
D6	OE

D2	S0
D3	S1
D4	S2
D5	S3
	HC-06
5V	VCC
TXD	RXD
RXD	TXD
GND	GND
	Датчик дотику
5V	VCC
D10	I/O
GND	GND

Так як, Arduino має тільки один порт живлення з номіналом 5 В та два порти заземлення, це робить неможливим приєднання усіх датчиків до плати, тому що кожен з них потребує індивідуального підключення. Для вирішення цієї проблеми було використано додаткову макетну плату MB-102. До неї було підключено шину живлення та заземлення (рис. 4.1).

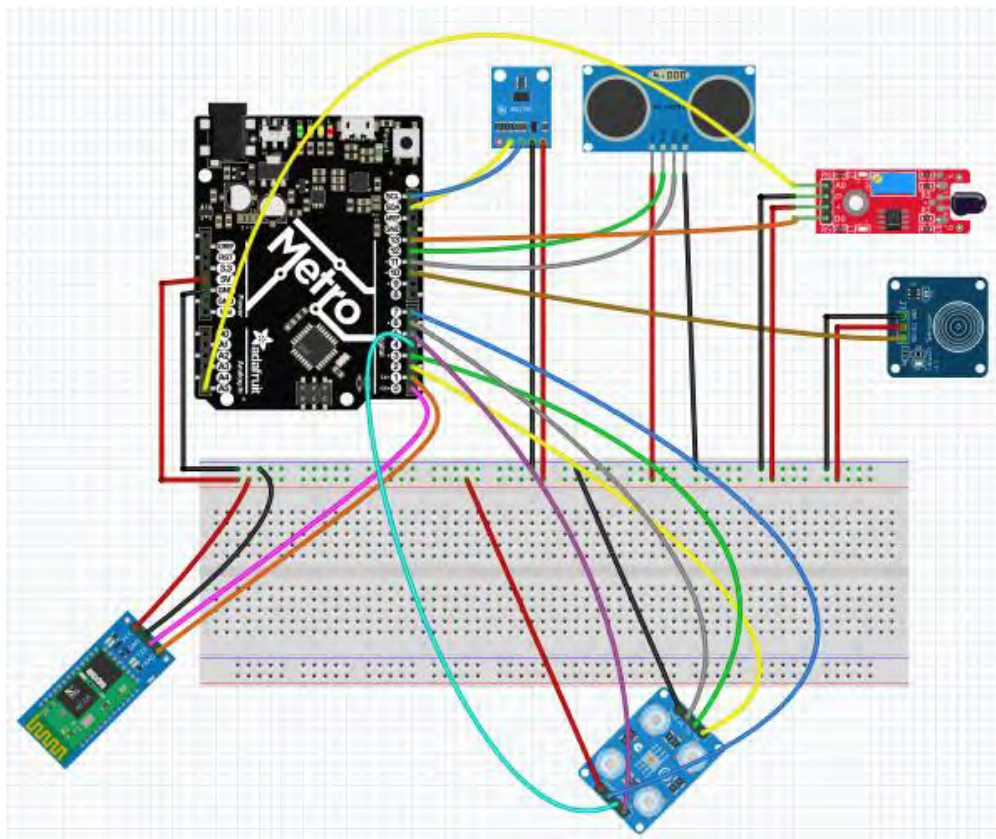


Рис.4.1 Схема пристрою

4.2 Тестова модель пристрою

Маючи схему та номери портів підключення, розроблено програмне забезпечення для роботи пристрою (Додаток 1). Власноруч зібрано тестову модель пристрою яка досить добре показала себе у випробуваннях. Для довгої та безперебійної роботи, елементом живлення було тимчасово обрано Power Bank з ємністю 2500 mAh. Сенсор дотику виконує завдання ввімкнення та вимкнення датчиків наступним чином:

- Один дотик – вмикає або вимикає ІЧ датчик (KY – 026)
- Два послідовних дотики – ввімкнення або вимкнення датчика визначення кольору (TCS230)
- Три послідовних дотики – ввімкнення або вимкнення УЗ датчика (HC – SR04)

Це дозволить збільшити час роботи пристрою від акумулятора та покращити можливості використання пристрою.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

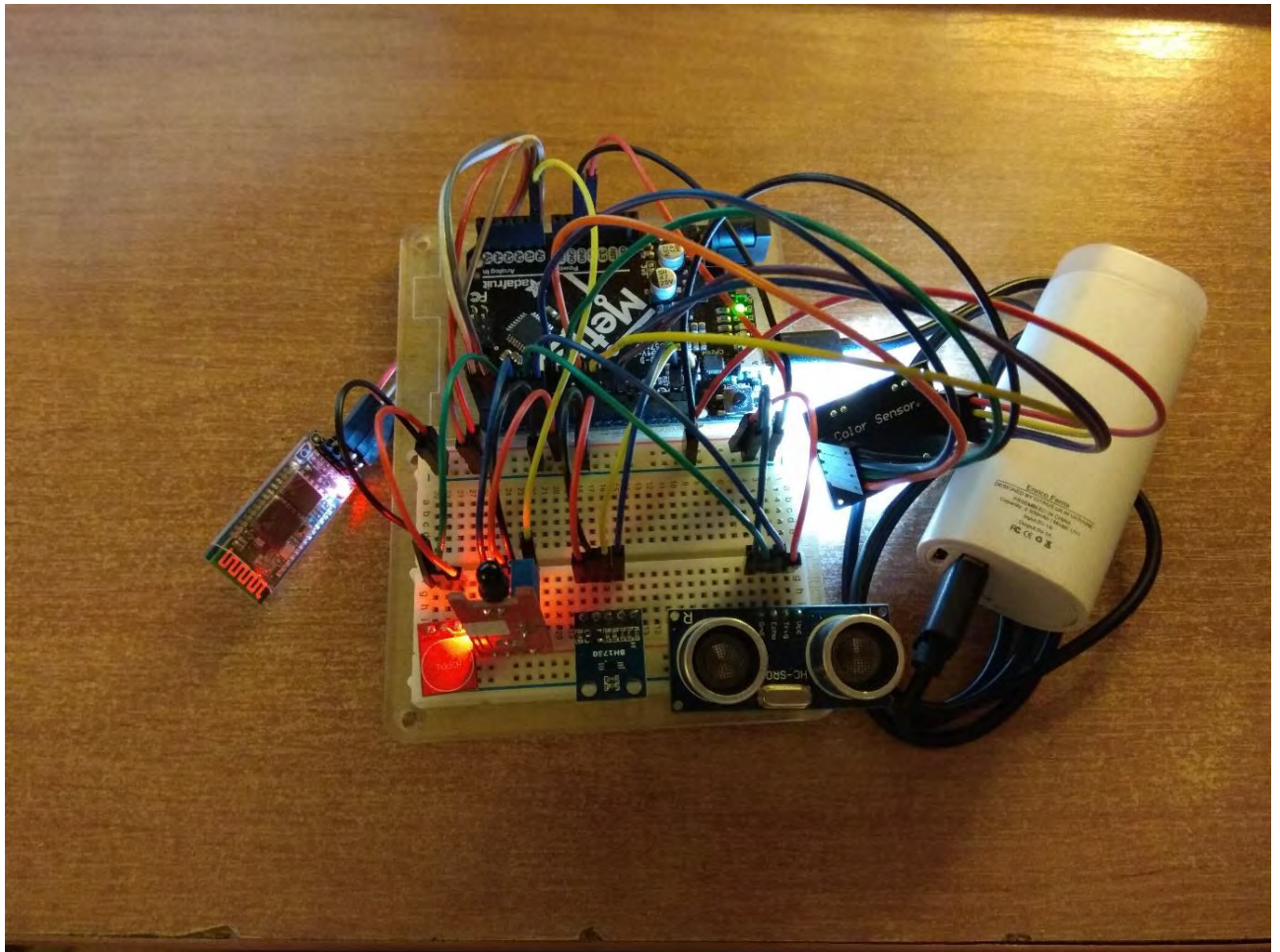


Рис. 4.2 Робоча модель пристрою

Також розроблено тестовий корпус для зручного використання та тестування пристрою. Даний корпус виготовлено з картону, він має багато недоліків. В майбутньому планується виготовлення корпусу на 3Д принтері, який дасть змогу добре зафіксувати всі елементи в корпусі.

					ПК61.14.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

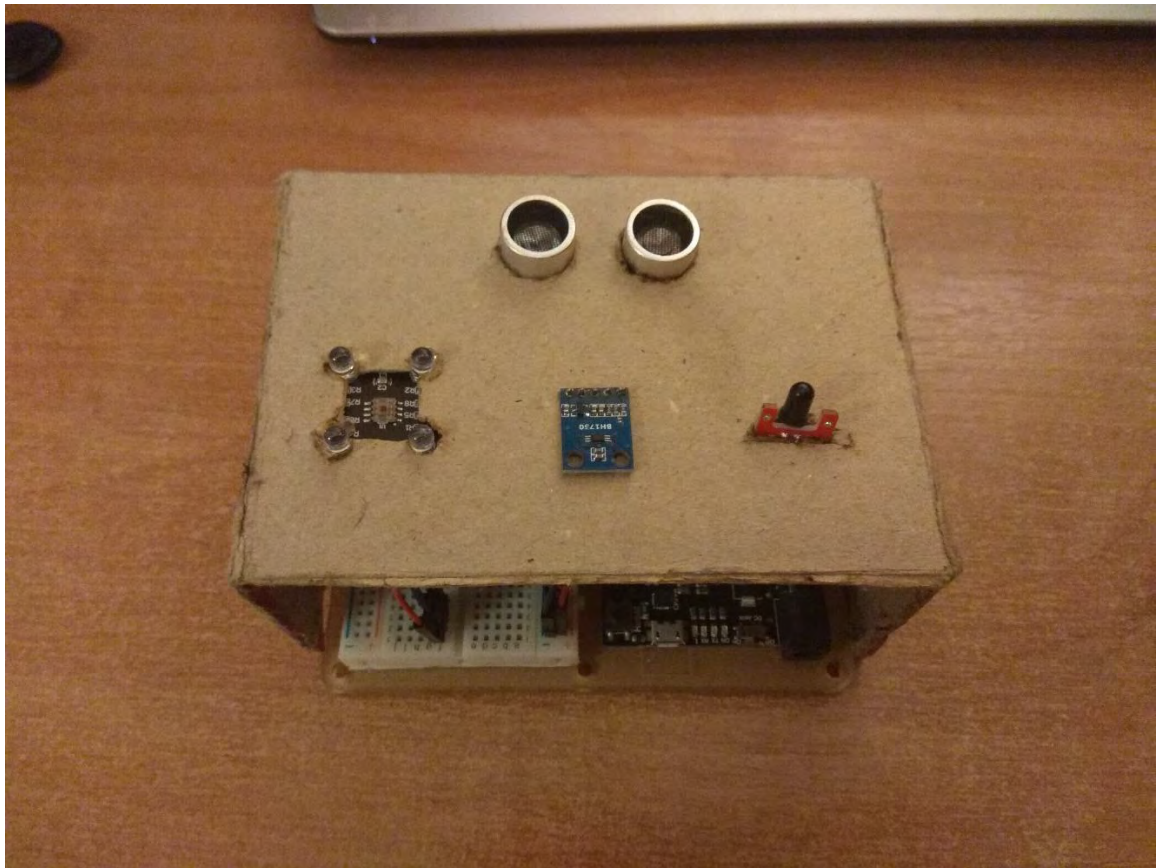


Рис. 4.3 Пристрій в тестовому корпусі

4.3 Висновки до розділу

В даному розділі розглянуто підключення всіх елементів до плати, продемонстровано модель за якою складається пристрій. Розроблено програмне забезпечення в якому додано можливість керування певними датчиками за допомогою сенсорної кнопки. Також розроблено власноруч тестовий прилад та його простий корпус, для зручності проведення випробувань над пристроєм.

					<i>ПК61_14_00_00_00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

ВИСНОВКИ

У ході виконання бакалаврського проєкту розглянуто питання пов'язані з необхідністю та актуальністю створення пристрою для вимірювання освітленості. Проведено детальний аналіз предметної області, розглянуто проблематику та особливості приладу. Необхідність використання такого пристрою обґрунтовано для великої кількості випадків, процедур і споруд. Деякі методи неруйнівного контролю та діагностики, а також проведення процедур у сфері охорони праці неможливі без використання приладів вимірювання освітленості, особливо доцільно його застосування у сфері сільського господарства.

На основі даних, що були отримані в процесі аналізу літературних джерел за темою дипломного проєкту, сформульовано завдання щодо створення рішення з використанням сучасних технологій, а саме новітніх датчиків для контролю різних параметрів, програмного забезпечення. Розроблено функціональну, електричну та оптичну схеми пристрою, синтезовано конструкцію його корпусу, обрано датчики для системи. Проведено підключення, розробку програмного забезпечення та тестування усіх модулів, а також моделювання роботи деяких вузлів розробленого пристрою.

Як результат було створено тестову модель пристрою, що добре показала себе у різних випробуваннях. У майбутньому планується розробити корпус та надрукувати його на 3D принтері, а також програмний додаток як на телефон так і на ПК. У перспективі заплановано створення сайту, за допомогою якого можна буде керувати пристроєм з будь якої віддаленої точки світу через інтернет.

					<i>ПК61_14_00_00_00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Україна – ЄС. Де краще освітлення? – Режим доступу: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/8777/1/NRMSE2017_V2_P5_90-591.pdf
- [2] ДСТУ ГОСТ ІСО 8995:2003 – Режим доступу: <http://interiorfor.com/dstu/dstu-gost-yso-8995-2003/>
- [3] Природне і штучне освітлення. – Режим доступу: <http://www.gorsvet.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/08/ДБН-В.2.5-28-2006.pdf>
- [4] Використання штучного освітлення для рослин захищеного ґрунту – Режим доступу: http://ir.znau.edu.ua/bitstream/123456789/4097/1/VKHNTU_2016_170_1_81-187.pdf
- [5] Петренко Д. В. Необхідність застосування люкметрів в неруйнівному контролі та охороні праці / Д. В. Петренко // Погляд у майбутнє приладобудування: збірник праць XIII Науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. – Київ, Україна, 13-14 травня 2020. – С. 301-304.
- [6] Lashko Olena Experience in the Organization of Non-Destructive Testing Formal Education in Ukraine / International Conference NDT Days 2019, 17-21 June, 2019, Sozopol, Bulgaria (NDT Days 2019). - P. 91-95.
- [7] Прилади для визначення рівня освітленості і методика його визначення. – Режим доступу: <https://remzhuk.ru/uk/pribor-ispolzuyu-dlya-izmereniya-osveshcheniya-lyuksmetr-pribor-dlya-izmereniya/>. – 10.04.2020.
- [8] Муравьёв А. В. Основные тенденции, проблемы и перспективы развития дисплейной наноэлектроники / А. В. Муравьёв // Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в

					ПК61_14_00_00_00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

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

- [9] Електронні компоненти та обладнання. – Режим доступу: <https://electronoff.ua/search?name=люксметр>. – 12.04.2020.
- [10] Муравьёв А. В. Перспективы применения нанотехнологий в микроэлектронике при производстве дисплеев / А. В. Муравьёв // Приборостроение – 2018: материалы 11-й Международной научно-технической конференции. – Минск, Белоруссия, 2018. – С. 311-313.
- [11] Морозов М. А. Современная лазерная дальнометрия / М. А. Морозов, А. В. Муравьёв // Новые направления развития приборостроения: материалы 9-й международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, 20-22 апреля. – Минск, Беларусь, 2016. – с. 38.
- [12] Протасов А. Г. Особливості професійної підготовки фахівців з неруйнівного контролю та технічної діагностики у вищому навчальному закладі / А. Г. Протасов // Проблеми інженерно-педагогічної освіти (Харків). – 2006. – №13. – С. 96-99.
- [13] Ознаки нестачі в рослин основних елементів живлення. – Режим доступу: <http://artahg.com.ua/statti/oznaky-nestachi-v-roslynakh-osnovnykh-elementiv-zhyvlennya.html>
- [14] Цапенко В. К. Основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / В. К. Цапенко, Ю. В. Куц. – Київ: НТУУ «КПІ», 2010– 448 с.
- [15] Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.

					<i>ПК61_14_00_00_00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
Програмний код проекту