

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Інтелектуальна система управління зовнішнім освітленням
(тема)

Виконав: студент 2 курсу, групи СКСМ-19-1

Магченко В.С.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма

Спеціалізовані комп'ютерні системи
(повна назва освітньої програми)

Керівник роботи доц. Рахліс Д.Ю.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис)

Чумаченко С.В.
(прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління
Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія
Тип програми Освітньо-професійна
Освітня програма Спеціалізовані комп'ютерні системи

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Матченко В'ячеславу Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Інтелектуальна система управління зовнішнім освітленням»

затверджена наказом по університету від 30 10 2020 р. № 1489 Ст.

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 22 12 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи Arduino Nano, bluetooth модуль HC-05, Arduino IDE, MIT App Inventor, мова програмування Wiring

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі Вступ

1 Огляд та проблеми інтелектуальної системи управління зовнішнім освітленням

2 Дослідження впливу колірної температури

3 Вибір компонентів системи управління освітленням

4 Реалізація пристрою

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів)

17 слайдів

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

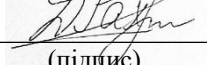
| Найменування розділу | Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові) | Позначка консультанта про виконання розділу | |
|----------------------|--|---|------|
| | | підпис | дата |
| | | | |
| | | | |

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № | Назва етапів роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|--------------------------------|----------|
| 1 | Видача теми роботи, її узгодження та затвердження. | 01.09.2020 – 07.09.2020 | |
| 2 | Аналіз проблемної області, постановка задачі, вибір засобів реалізації. | 07.09.2020 – 21.09.2020 | |
| 3 | Придбання необхідних компонентів. | 21.09.2020 – 05.10.2020 | |
| 4 | Збірка пристрою. | 05.10.2020 – 26.10.2020 | |
| 5 | Створення додатка на смартфон. | 26.10.2020 – 02.11.2020 | |
| 6 | Написання коду для мікроконтролера. | 02.11.2020 – 09.11.2020 | |
| 7 | Оформлення пояснювальної записки. | 09.11.2020 – 14.12.2020 | |
| 8 | Перевірка виконаного проекту, допуск до захисту. | 14.12.2020 – 21.12.2020 | |
| 9 | Захист проекту. | 22.12.2020 | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Дата видачі завдання 01.09.2020

Студент 

Керівник роботи  доц. каф. АПОТ Рахліс Д.Ю.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 83 сторінки, 40 рисунків, 17 таблиць, 3 лістинга, 46 посилань та 1 додаток.

КОЛІРНА ТЕМПЕРАТУРА, «РОЗУМНА ЛАМПА»,
МІКРОКОНТРОЛЕР, ARDUINO, BLUETOOTH МОДУЛЬ, ARDUINO
NANO, ARDUINO IDE, [MIT APP INVENTOR](#).

Метою даної атестаційної роботи є ознайомлення з корельованою колірною температурою та розробка пристрою керування освітленням та його реалізація на базі плати Arduino.

Розглядаються дослідження щодо впливу колірної температури на людину та різновиди «розумних ламп» на ринку. Для реалізації пристрою запропоновано використовувати плату з мікроконтролером Arduino Nano, розглянуті основні переваги даної плати. Програму для мікроконтролеру написано на мові Wiring, яка перетворюється в програму на мові C/C++. Отримані результати демонструють коректність роботи всієї моделі в цілому.

ABSTRACT

The explanatory note contains: 83 pages, 40 figures, 17 tables, 3 listings, 46 references and 1 application.

COLOR TEMPERATURE, "SMART LAMP", MICROCONTROLLER, ARDUINO, BLUETOOTH MODULE, ARDUINO NANO, ARDUINO IDE, MIT APP INVENTOR.

The purpose of this master's work are to get acquainted with the correlated color temperature and to develop a lighting control device and its implementation on the Arduino board.

Conducted researches on the effect of color temperature on humans and varieties of "smart lamps" on the market are considered. To implement the device, it was suggested to use a board Arduino Nano with microcontroller, consider the main advantages of this board. The program for the microcontroller was written in Wiring, which is converted into a program in the language of C/C++. The obtained results demonstrate the correctness of the work of the whole model.

| | |
|--|----|
| МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ..... | 1 |
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ..... | 8 |
| 1.1 Поняття колірної температури..... | 12 |
| 1.2 Проблеми точності передачі кольору..... | 16 |
| 1.4 Проблеми реалізації інтелектуальної системи управління зовнішнім освітленням | 31 |
| 1.4 Постановка завдання..... | 34 |
| 1МГЦ З АВТОРЕЗЕТОМ..... | 59 |
| 1РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИСТРОЮ..... | 68 |
| 4.1 Перевірка плати на працездатність..... | 69 |
| 4.2 Пайка контактів та підключення Bluetooth модулю..... | 70 |
| 4.3 Перевірка Bluetooth модулю..... | 72 |
| 4.4 Написання Android-додатку на смартфон..... | 74 |
| 4.5 Підключення світлодіоду та дізнання кодів пульта ДУ..... | 76 |
| 4.6 Написання програми для мікроконтролера..... | 79 |
| ВИСНОВКИ..... | 82 |
| ДОДАТОК А..... | 88 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- RDM – Remote Device Management (віддалене керування пристроями);
- WPAN – Wireless Personal Area Networks (бездротові сенсорні мережі);
- IoT – Internet of Things (інтернет речей);
- CIE – International Commission on Illumination (міжнародна комісія по освітленню);
- SD – Standard deviation (Стандартне відхилення);
- PMW – Predicted Mean Vote (Передбачуване середнє голосування);
- ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Американське товариство інженерів з нагрівання, охолодження та кондиціонування повітря);
- ANOVA – Analysis of variance (Аналіз дисперсії);
- ККТ – Корельована колірна температура;

| | |
|------|---|
| M | – Mean (середнє значення); |
| EEG | – Електроенцефалограма; |
| LED | – Light-emitting diode (світлодіод); |
| RGBW | – Red Green Blue White (масив кольорових фільтрів); |
| ШИМ | – Широтно-імпульсна модуляція; |
| ІЧ | – Інфрачервоний; |
| IDE | – Integrated Development Environment (інтегроване середовище розробки); |
| COM | – Communication port (послідовний порт). |

ВСТУП

Розумне освітлення, яке також називають адаптивним освітленням, полягає в додаванні інтелекту або логіки до ламп або світильників, щоб освітлення могло автоматизовано спілкуватися та взаємодіяти з навколишнім середовищем, мешканцями будинків та іншими пристроями. Розумне освітлення забезпечує гнучкість та автоматизацію освітлювальної інфраструктури для управління безліччю функцій освітлення - від простого вмикання або вимикання до складного адаптивного освітлення. Незалежно від того, щоб максимізувати економію енергії на комерційному об'єкті чи забезпечити зручність користувачам у приватній резиденції, розумне управління освітленням забезпечує інтелектуальний переклад таких потреб між приладами освітлення та навколишнім середовищем з мінімальним втручанням людини. Від єдиного світильника зі структурою підключення від точки до точки, до світильників, згрупованих у взаємопов'язану сітчасту мережу, інтелектуальні системи освітлення доступні для роботи у проектах всіх розмірів та комунікації за допомогою широкого спектру протоколів через різні канали зв'язку.

У міру розвитку технології розумне освітлення стає терміном, який охоплює ряд понять. Перемикання або затемнення освітлення за графіком, визначеним користувачем, або при виявленні руху, можна було б назвати

інтелектуальною технологією освітлення 10 років тому. Те, що ми сьогодні сприймаємо як розумне освітлення, – це інтелектуальна інфраструктура, яка складається з вузлів освітлення, датчиків та інших розумних пристроїв, підключених до взаємодії між собою через Інтернет-платформу. Розумне світло в найпростішій формі – це програмований освітлювальний пристрій, який може взаємодіяти з пультом дистанційного керування через дротову або бездротову мережу. Розумне освітлення не обов'язково повинно бути обладнане Інтернет-системою управління освітленням та складними алгоритмами, керованими датчиками. Це може бути система "точка-точка", яка забезпечує адаптацію на вимогу за допомогою місцевих датчиків або окремих місцевих органів управління. Загалом концепції розумного освітлення поділяються на три категорії.

1. Локалізоване інтелектуальне освітлення: фокусується на додаванні двостороннього зв'язку між контролером освітлення та приладом освітлення, не враховуючи масштабованість та сумісність. Це дозволяє віддалено налаштовувати, контролювати стан, керувати та програмувати лише підключені освітлювальні прилади. Локалізоване інтелектуальне освітлення, як правило, є фірмовим рішенням, яке працює незалежно від власної екосистеми, що складається із спеціального обладнання та програмного забезпечення. Наприклад, мережа інтелектуальних світильників, що працюють на віддаленому керуванні пристроями (RDM) (двосторонній протокол зв'язку на основі DMX512), або власні протоколи Ethernet є локалізованим рішенням для освітлення. Будь-яку бездротову систему інтелектуального освітлення, яка підтримує лише точковий зв'язок короткого радіусу дії, можна вважати локалізованим інтелектуальним освітлювальним пристроєм. До таких пристроїв належать розумні лампочки, які використовують оригінальний протокол Bluetooth, відомий як Bluetooth Classic.

2. Мережеве інтелектуальне освітлення: йде на крок далі шляхом стандартизації комунікаційних протоколів, щоб додати масштабованість та сумісність інтелектуальних систем освітлення, одночасно зменшуючи біль при введенні в експлуатацію та спарюванні. Повсюдні програми для смартфонів, бездротові сенсорні мережі та рішення WPAN (Wireless Personal Area Networks) сприяли надзвичайній доступності розумних ламп, які дозволяють легко встановлювати та інтуїтивно зрозуміло керувати ними. Розумні системи освітлення, які взаємодіють із використанням стандартизованих бездротових протоколів, таких як ZigBee, Z-Wave, Wi-Fi, Bluetooth Mesh та Thread, мають чудову масштабованість та долають проблеми завдяки взаємодії. Така освітлювальна мережа без особливих зусиль масштабується від невеликої кількості освітлювальних вузлів до високоінтегрованих установок з десятків тисяч розумних пристроїв, які включають не тільки розумні лампи, але також датчики розміщення та датчики навколишнього середовища.

3. Інтелектуальне освітлення з підтримкою IoT: забезпечує додаткові можливості для мереж PAN (персональні мережі) та VAN (натільні мережі). Інтернет речей робить розумне освітлення на стероїдах. Він включає можливості обробки, прошивку, підключення та архітектуру на основі IP для встановлення зв'язку та взаємодії між усіма розумними пристроями та Інтернетом. IoT розкриває весь потенціал підключеного освітлення, збираючи дані з підключених датчиків, щоб створити нові уявлення та корисну інформацію через високозахищену, масштабовану хмарну платформу. Порівняно з розумним освітленням на основі мережі, інтелектуальне освітлення з підтримкою IoT має вищу надійність, масштабованість, надійність, сумісність та більший діапазон для з'єднань точка-точка. У програмах IoT освітлювальні пристрої або підключаються безпосередньо до Інтернету, або опосередковуються через локальні або глобальні мережі.

1 ОГЛЯД ТА ПРОБЛЕМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗОВНІШНІМ ОСВІТЛЕННЯМ

1.1 Поняття колірної температури

Поняття колірної температури базується на взаємозв'язку між температурою та випромінюванням теоретичним стандартизованим матеріалом, який називається абсолютно чорним тілом, охолодженим до стану, в якому припиняється будь-який рух молекул. Гіпотетично, при припиненні молекулярного руху температура описується на рівні абсолютного нуля або 0 Кельвінів, що дорівнює -273 градусам Цельсія.

Якщо уявити, що абсолютно чорне тіло нагрівається до температури замерзання води, що дорівнює 273 Кельвінам, 0 градусам за Цельсієм або 32 градусам за Фаренгейтом, потім воно додатково нагрівається до температури кипіння води: 373 Кельвінів, 100 градусів за Цельсієм або 212 градусів за Фаренгейтом, то якщо абсолютно чорне тіло продовжить нагріватися, воно почне світитися і випромінювати власне світло. Коли температура досягне 3200 Кельвінів, абсолютно чорне тіло буде випромінювати світло із видимим спектром, рівним колірній температурі світла, що виробляється вольфрамовою ниткою, типовою для тих, що знаходяться в лампах мікроскопу.

Абсолютна температура абсолютно чорного тіла завжди виражається в Кельвінах, що еквівалентно (приріст градусів ідентичний) градусам за Цельсієм ($^{\circ}\text{C}$) плюс 273 градуси. Наприклад, 1000 К дорівнює 727°C . Отже, температуру кольору джерела світла можна визначити як значення абсолютної температури абсолютно чорного тіла, коли кольоровість випромінювача збігається з кольоровістю джерела світла. У випадку з люмінесцентними лампами та іншими джерелами, які можуть наблизити лише кольоровість чорного тіла, скоригований термін корельованої колірної температури застосовується через розрахункову кольоровість.

Хоча цього абсолютно чорного тіла насправді не існує, багато металів поведуться подібним чином, тому можна застосувати чорну металеву підкову (рис. 1.1) як приклад. На рисунку 1.1 підкова спочатку нагрівається до температури близько 900 К (рис. 1.1(a)), де вона починає світитися притуплено-червоним кольором. Коли температура підвищується до 1500 К і 2000 К, підкова (рисунок 1.1(b)) набуває від жовтуватого до яскравішого червоного кольору. Збільшення температури ще більше до близько 3000 К призводить до переходу до жовто-білого кольору (колірна температура вольфрамової нитки, рис. 1.1(c)), а при 5000 К і вище (кольорова температура денного світла, рис. 1.1(d)), з'являється синювато-білий колір.



Рисунок 1.1 – Колірна температура абсолютно чорного тіла

Поняття колірної температури є дуже важливим у фотографії, де плівкові емульсії повинні бути збалансованими, щоб точно передавати колір, використовуючи різні джерела світла. Особливо це стосується фотографії за допомогою мікроскопа. Плівки, призначені для використання на вулиці при звичайному денному світлі, або в приміщенні з флуоресцентним або спалаховим освітленням, збалансовані під час виробництва для колірної температури 5500 К. Альтернативно, плівки, призначені для використання в приміщенні з вольфрамовими лампочками (або в мікроскопі), збалансовані для колірної температури від 3200 до 3400 К. Середнє значення колірного спектру денного світла 5500 К змінюється протягом різних частин дня і також залежить від пори року (таблиця 1.1). Рано вранці та пізно ввечері колірна температура падає до 5000 К і нижче, спричиняючи зміну кольору в емульсії, що призводить до більш теплих (червоних) кольорових відтінків [1].

Таблиця 1.1 – Орієнтовні колірні температури загальних джерел світла

| Джерела денного світла та штучні джерела | Колірна температура |
|--|------------------------|
| Небесне світло | від 12000 К до 18000 К |
| Похмує небо | 7000 К |

| | |
|---|----------------------|
| Ясне літнє небо | від 5000 К до 7000 К |
| Ясне зимове небо | від 5500 К до 6000 К |
| Фотографічне денне світло | 5500 К |
| Полуднєве сонячне світло (Залежно від дати) | від 4900 К до 5800 К |
| Середнє полуднєве сонячне світло (Північна півкуля) | 5400 К |
| Сонячне світло на висоті 30 градусів | 4500 К |
| Сонячне світло на висоті 20 градусів | 4000 К |
| Сонячне світло на висоті 10 градусів | 3500 К |
| Схід та захід сонця | 3000 К |
| Електронний спалах | від 5500 К до 6500 К |
| Лампочки із синім покриттям | від 5500 К до 6500 К |
| Ксеноновий пальник | 6000 К |

Продовження таблиці 1.1

| | |
|---|----------------------|
| Біле полум'я вуглецевої дуги | 5000 К |
| Цирконієві спалахи (AG-1 & M3) | 4200 К |
| Теплі білі флуоресцентні трубки | 4000 К |
| Наповнені алюмінієм лампочки (M2, 5 та 25) | 3800 К |
| 500-ватна лампа заливаючого світла | 3400 К |
| 500-ватна вольфрамова фотолампа | 3200 К |
| 12 В / 100 Вт вольфрамово-галогенна лампа | 3200 К |
| 12 В / 50 Вт вольфрамово-галогенна лампа | 3200 К |
| 12 В / 20 або 30 Вт вольфрамово-галогенна лампа | 3200 К |
| Побутова лампа на 200 Вт | 2980 К |
| Побутова лампа на 100 Вт | 2900 К |
| Побутова лампа на 75 Вт | 2820 К |
| Побутова лампа на 40 Вт | 2650 К |
| Газовий промінь | від 2000 К до 2200 К |
| Свічка | 1900 К |

1.2 Проблеми точності передачі кольору

Якщо припустити, що треба створити зображення, яке дає точну передачу кольорів об'єкта, то це матиме деякі проблеми. Перша проблема полягає в тому, що візуальні кольори об'єкта залежать від світла, яке його освітлює, оскільки об'єкт частково поглинає і частково відображає різні кольори в випромінюючому світлі. Можна сказати "висвітлити об'єкт білим світлом", але питання "Що таке біле світло?" є нетривіальним.

З точки зору основних колірних характеристик відтінку, насиченості та яскравості, біле світло вважається світлом нульової насиченості (ахроматичним) та високою яскравістю. Оскільки не існує жодного джерела світла, про яке можна сказати, що воно виробляє ідеально біле світло, підхід колірних досліджень полягав у нанесенні на карти сприйняття людиною кольору на CIE діаграмі кольоровості. Ця діаграма (рис. 1.2) показує, що існує область зорового сприйняття, яку можна позначити як "білу", але не увесь білий однаковий [2].

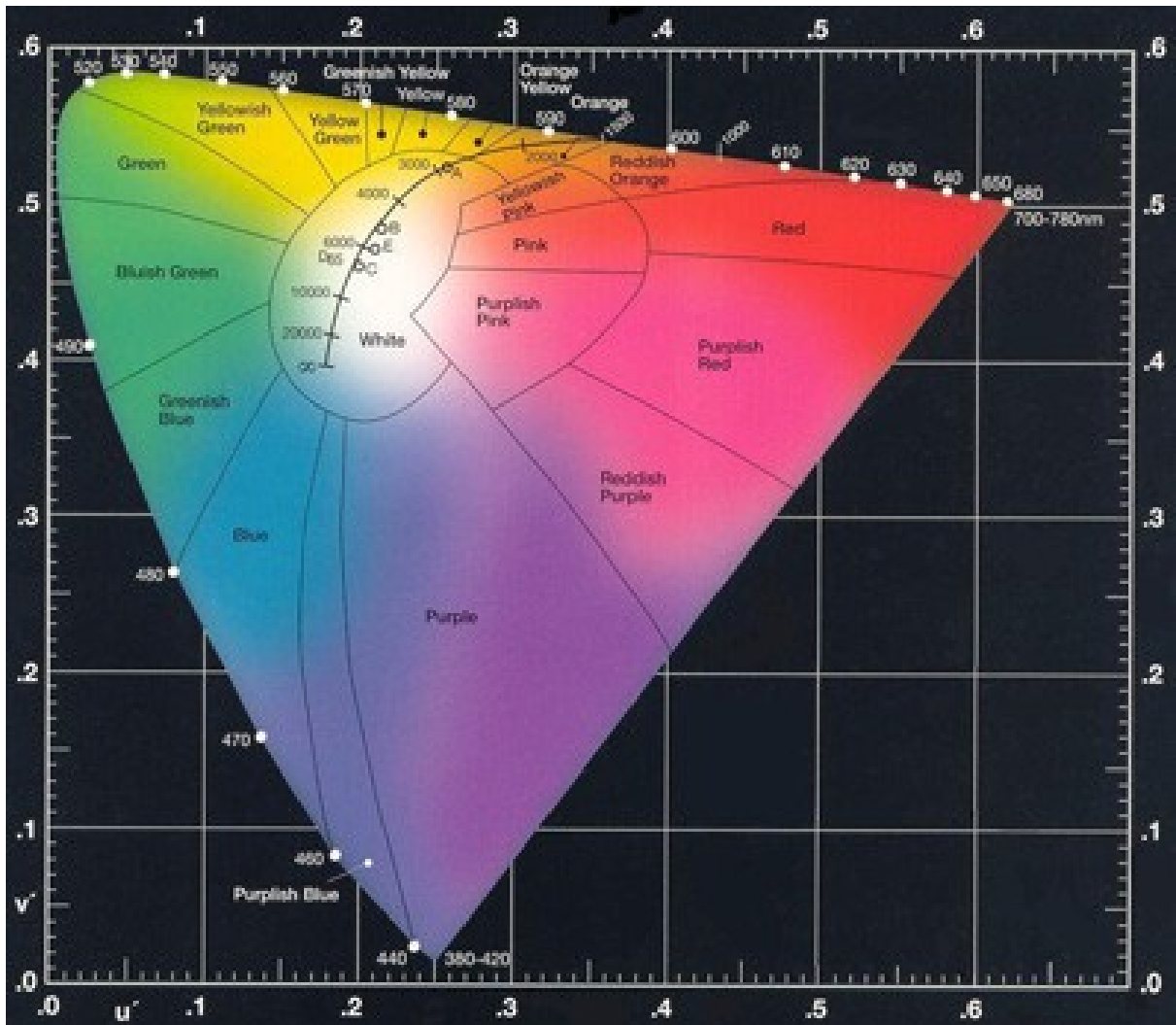


Рисунок 1.2 – CIE діаграма кольоровості

Ця діаграма кольоровості відображає всі кольори, видимі для людського ока, хоча її зображення на сторінці чи екрані комп'ютера ніколи не є повністю точним, оскільки такі процеси відображення не можуть охоплювати весь спектр людського ока. До центру діаграми розташована область з написом "білий", це область, де кольори настільки ненасичені, що наближаються до білого. Кольори по краю діаграми повністю насичені.

Крива лінія, проведена через білу область (рис. 1.3), показує кольоровість дуже гарячих об'єктів, розпечених до білого, які називаються абсолютно чорними тілами. Цифри вздовж кривої – це абсолютні температури гарячого об'єкта в Кельвінах.

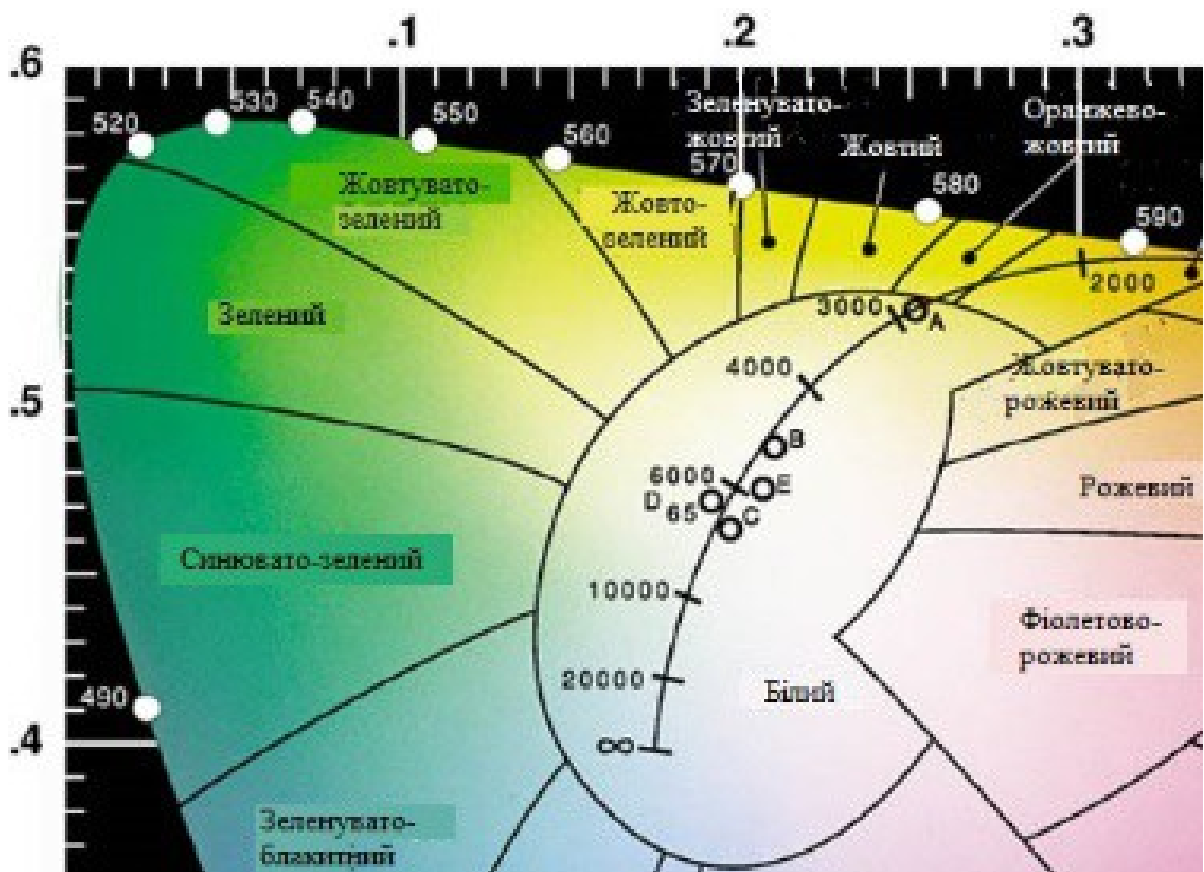


Рисунок 1.3 – Детальна частина діаграми з абсолютними температурами

Гарячий об'єкт видає випромінювання, яке розподіляється відповідно до універсальної кривої випромінювання абсолютно чорних тіл, тому воно є стабільним стандартом для порівняння зі спектральним розподілом та сприйнятим кольором будь-якого джерела світла. Для будь-якого джерела світла, яке є приблизно білим, ми можемо визначити "колірну температуру" як температуру, пов'язану з абсолютно чорним тілом в точці на кривій, найближчій до місця розташування цього джерела на діаграмі кольоровості.

З рисунку 1.3 видно, що джерела з дуже високою колірною температурою мають більше вмісту синього, а джерела з низькою колірною температурою - більше жовтого. Вільямсон і Каммінс пропонують колірну температуру близько 2800K для 100 Вт лампи розжарювання, колірну температуру 4870K для прямих сонячних променів і 6770K для світла від похмурого неба.

Крива випромінювання для більш високих температур рухається до коротших довжин хвиль, і для 6000K пік знаходиться в синій області (рис. 1.4).

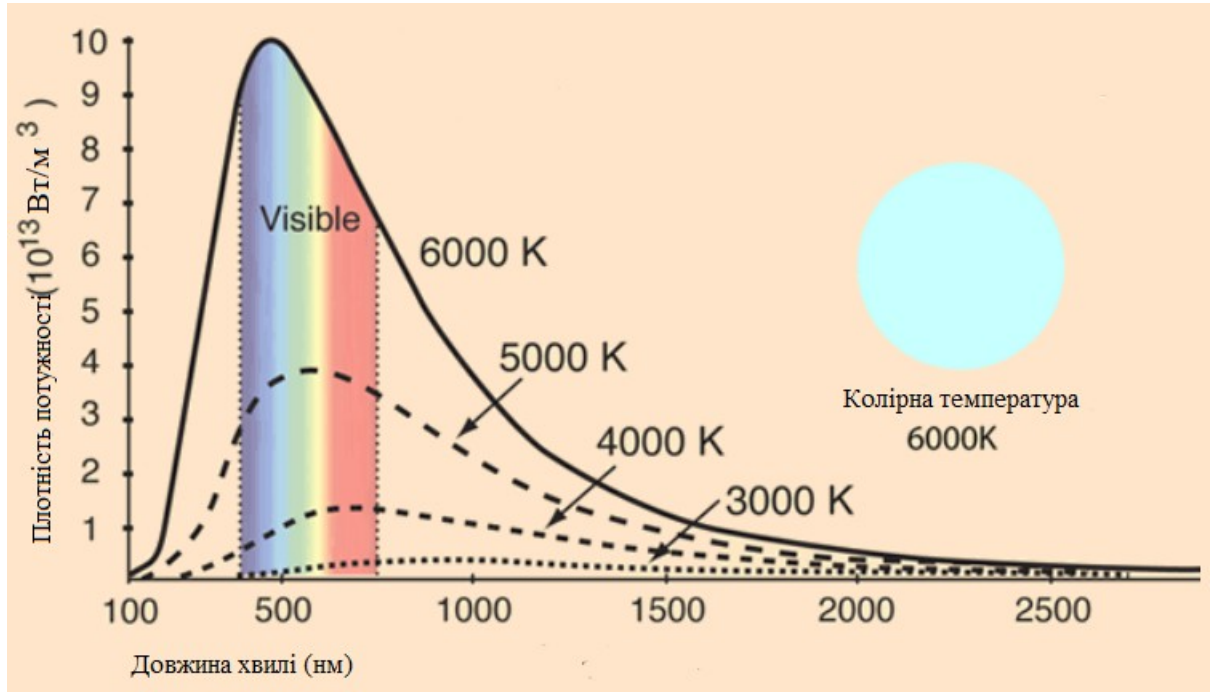


Рисунок 1.4 – Графік залежності густини потужності від довжини хвилі для колірної температури в 6000 К

Для 3000K пік випромінювання знаходиться в інфрачервоному діапазоні, і інтенсивність зростає до червоного в кінці видимого спектру (рис. 1.5).

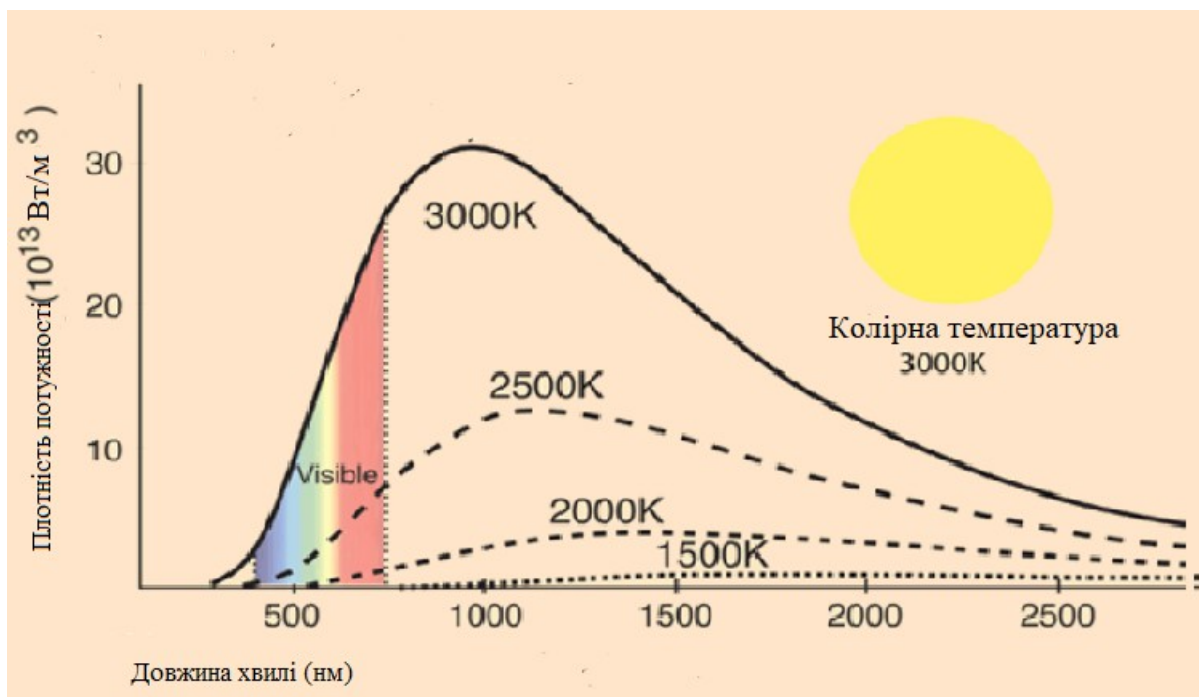


Рисунок 1.5 – Графік залежності густини потужності від довжини хвилі для колірної температури в 3000 К

Поняття колірної температури базується на взаємозв'язку між температурою та випромінюванням теоретичним стандартизованим матеріалом, який називається абсолютно

Це спроба проілюструвати походження різниці кольорів для різних температур гарячих предметів. Жоден з кольорів не слід сприймати як точний – це якісний опис. Кольори, що представляють колірні температури 3000К та 6000К, занадто насичені, але вони служать для передачі загального характеру різниці для абсолютно чорних тіл з різною температурою.

Для забезпечення небезпідставних стандартів кольорових вимірювань використовувались три стандартні освітлювальні прилади А, В і С. Вони показані в діаграмі кольоровості на рисунку 1.6. Освітлювач А – це абсолютно чорне тіло при 2854К, близько наближене до лампи розжарювання 500 Вт. Освітлювач В – це пряме сонячне світло опівдні в ясний день з колірною температурою 4870К. Освітлювач С – це мансардне вікно в похмурий день з колірною температурою 6770К (рис. 1.7).

Історично склалося так, що три стандартні освітлювальні прилади з маркуванням А, В і С використовувались як еталони для визначення кольору. Вони позначені на розділі діаграми кольоровості СІЕ ліворуч вздовж кривої, що представляє абсолютно чорне тіло. Освітлювачі В і С, які є джерелами денного світла, можна імітувати за допомогою джерела А та спеціально розроблених рідких фільтрів. Кажуть, що освітлювач Е є випромінювачем із "рівною енергією", з постійною спектральною густиною потужності у видимому діапазоні.

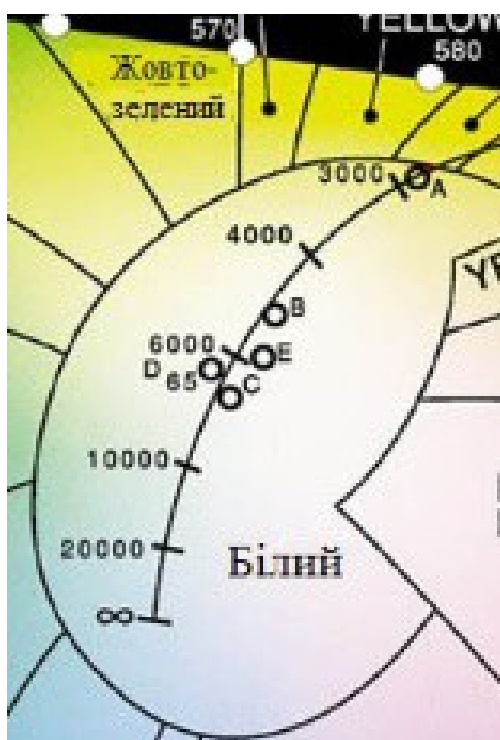


Рисунок 1.6 – Детальна частина діаграми з абсолютними температурами та позначками стандартних освітлювальних приладів

Серія D стандартних освітлювальних приладів була розроблена Джаддом, МакАдамом та Вишечі для представлення природного денного світла. Вони позначаються D50, D55, D65 і D75. Джерело D65 зазначено на діаграмі кольоровості вище і відповідає колірній температурі 6500K (насправді 6504K через уточнення значень констант у законі Планка).

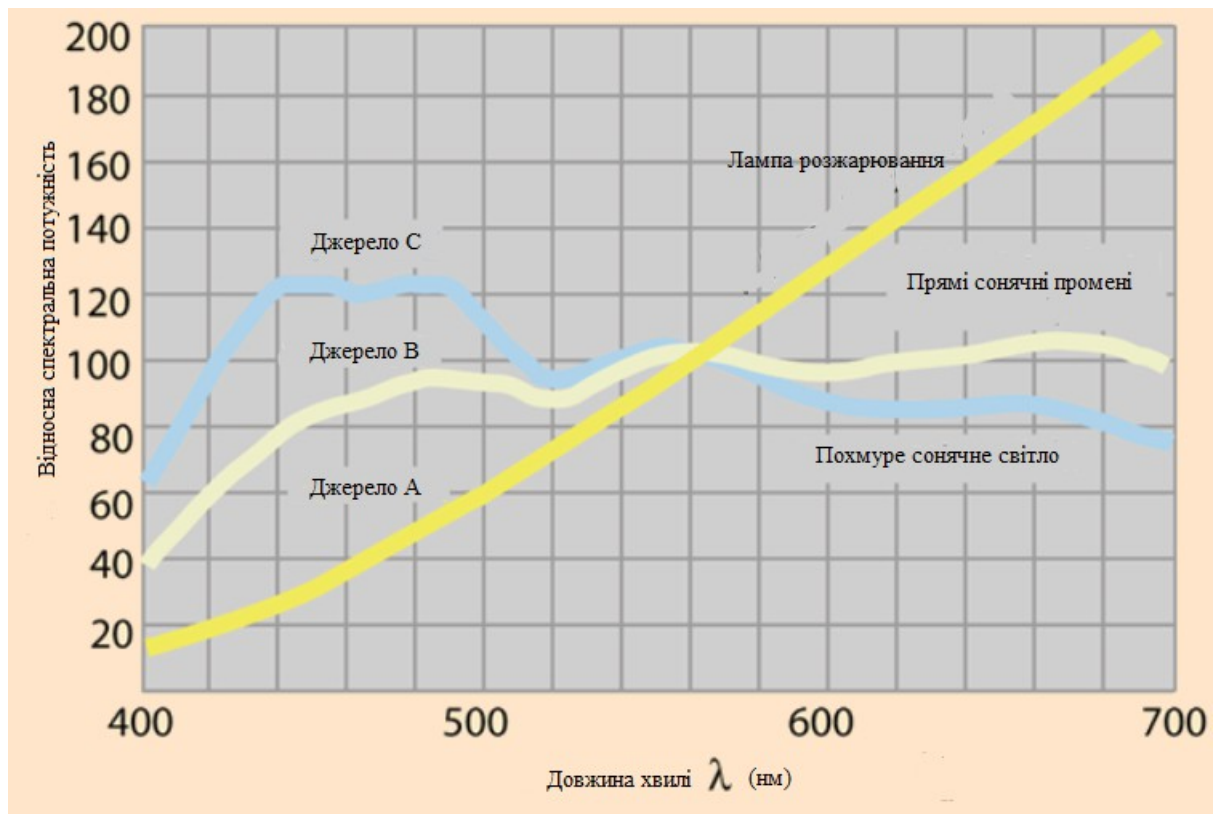


Рисунок 1.7 – Графік залежності відносної спектральної потужності від довжини хвилі для трьох стандартних освітлювальних приладів

1.3 Огляд існуючих систем управління освітленням на ринку

Найкращі розумні лампочки – яскраві, прості в налаштуванні та сумісні з усіма важливими системами розумного будинку, щоб, наприклад, коли розблоковуються двері, світильники вмикалися, або коли мешканці від'їжджають, світло випадково вмикалося та вимикалося, щоб було схоже, що хтось вдома. Всі вони також є світлодіодними, тому вони використовують набагато менше енергії, ніж традиційні лампи розжарювання та галогенні лампочки. Вони достатньо надійні для підключення до домашньої мережі. Після створення пари можна керувати ними за допомогою смартфона або розумного помічника, такого як Alexa, Google Assistant або Siri. Але це не означає, що кожен розумну лампочку варто купувати, тому мною були розглянуті та обрані для опису наступні лампи.

1.3.1 Sunco Lighting

Sunco базується в США і дотримується найвищих стандартів для всіх продуктів, тестуючи кожен на оптимальну роботу та безпеку та даючи 5-річну гарантію. Зручний додаток Sunco дозволяє дистанційно керувати розумною лампочкою на смартфоні або планшеті, не вимагаючи концентратора, окремо або у створених різних групах для управління в унісон. Є можливість використання таймеру, щоб встановити розклад для ввімкнення / вимкнення лампочок. Сумісність з Amazon Alexa або Google Assistant дозволяє лампочкам Sunco (рис. 1.8) покращити розумний дім шляхом голосового управління увімкнення/вимкнення або зміни яскравості та кольору з веселки на додатку та кольірних температур від 2700К до 5000К (табл. 1.2). Синхронізація музики піднімає атмосферу на новий рівень, змінюючи колір у такт улюбленої пісні.



Рисунок 1.8 – Лампи Sunco Lighting

Таблиця 1.2 – Характеристики лампи Sunco Lighting

| Характеристика | Опис |
|----------------|----------------|
| Бренд | Sunco Lighting |
| Колір | RGB |
| Тип | LED |

Продовження таблиці 1.2

| | |
|-------------------------------|-------------|
| Напруга | 120 В |
| Потужність | 8 Вт |
| Діапазон колірної температури | 2700К-5000К |
| Світловий потік | 650 лм |

1.3.2 KULED

Розумна WiFi лампочка KULED (рис. 1.9) сумісна з Alexa Echo (через Smart Life), точкою Echo та Google Home Assistant, дистанційно керується голосом з будь-якого місця, концентратор не потрібен. За допомогою безкоштовного додатку на смартфоні чи планшеті можна вмикати та вимикати ці лампочки незалежно від місцезнаходження. Колір регулюється від 2700 К м'якого білого до 5000 К (табл. 1.3) білого денного світла, також є можливість змінення яскравості. За допомогою цієї лампочки можна зробити простір більш креативним завдяки можливості вибору з 16 мільйонів кольорів та відтінків білого. Завдяки світлодіодній технології ця розумна лампочка заощаджує до 60% енергоспоживання в порівнянні зі звичайною лампочкою за допомогою новітніх технологій освітлення. Цю розумну лампочку можна використовувати в будь-якому місці, де потрібне кольорове світло, наприклад, домашнє внутрішнє освітлення, готель, кімната для переговорів, музей, ресторан, бар, кафе, святкові прикраси, день народження. Лампа має тривалий термін служби: понад 30000 годин або 27,39 років життя при звичайному використанні (3 години на день).



Рисунок 1.9 – лампа KULED

Таблиця 1.3 – Характеристики лампи KULED

| Характеристика | Опис |
|-------------------------------|-------------|
| Бренд | KULED |
| Колір | RGB |
| Тип | LED |
| Напруга | 120 В |
| Потужність | 9.5 Вт |
| Діапазон колірної температури | 2700К-5000К |
| Світловий потік | 800 лм |

1.3.3 JandCase

Це світлодіодна лампочка (рис. 1.10) з дистанційним управлінням, з якою можна просто використовувати пульт дистанційного керування, щоб вибрати будь-яку з десяти рівнів, такі як 3000 К, 4000 К, 5000 К, 6000 К тощо (табл. 1.4), колірну температуру, від теплого білого до холодного білого, щоб задовольнити багатоцільові потреби в житті. Режим нічного освітлення може забезпечити більш темне світло, щоб задовольнити потреби у сні. Для цієї лампи не потрібно встановлювати диммер, просто регулювати

яскравість за допомогою пульта або настінного перемикача. Якщо вимкнути лампочку за допомогою пульта дистанційного керування, він зможе запам'ятати останній використаний колір та яскравість. Також можна синхронізувати її на автоматичне вимкнення через 1 годину або більше, але до 24 годин, тому ніколи не доведеться турбуватися про те, що світло залишається ввімкнутим. Ця світлодіодна лампочка потужністю 6 Вт може забезпечити 500 люмен світловіддачі, що робить її енергоефективною заміною 40-ваттній лампочці, такої як компактна люмінесцентна лампа (КЛЛ), галогенні або лампи розжарювання, що зменшує рахунки за електроенергію.



Рисунок 1.10 – Лампи JandCase

Таблиця 1.4 – Характеристики лампи JandCase

| Характеристика | Опис |
|----------------|----------|
| Бренд | JandCase |
| Колір | Білий |

| | |
|-------------------------------|-------------|
| Тип | LED |
| Напруга | 120 В |
| Потужність | 6 Вт |
| Діапазон колірної температури | 2700К-6500К |
| Світловий потік | 500 лм |

1.3.4 Lighteu Miboxer

З цією лампою (рис. 1.11) теплий білий дуже теплий і приємний, холодний білий світло-чистий та можна отримати понад 16 мільйонів кольорів. Немає RGB-веселки на відстані, як у інших дешевих RGB світлодіодів. Ця модель має функцію пам'яті: після зв'язування, незалежно від того, який колір або режим був встановлений перед вимкненням, це буде той самий колір або режим при повторному ввімкненні. Має кілька методів управління: можна керувати яскравістю, кольором тощо за допомогою настінного перемикача Mi.Light, віддаленого управління Mi.Light (до 30 метрів), а також з додатка Android / IOS у будь-якій точці світу за допомогою мосту WiFi. Теплий білий колір (2700-3200 К) (табл. 1.5) цієї лампи – це не білий колір, змішаний з RGB, він виготовлений із специфічних теплих білих світлодіодів. Пульти дистанційного керування або смартфон, контроль з якого не має обмежень на відстань, можуть керувати 4 групами лампочок, кожна група може мати будь-яку кількість лампочок в радіусі 30 метрів, також можна контролювати кожну групу індивідуально або разом.



Рисунок 1.11 – Лампа Lighteu Miboxer

Таблиця 1.5 – Характеристики лампи Lighteu Miboxer

| Характеристика | Опис |
|-------------------------------|-----------------|
| Бренд | Lighteu Miboxer |
| Колір | RGB |
| Тип | LED |
| Напруга | 120 В |
| Потужність | 4 Вт |
| Діапазон колірної температури | 2700К-3200К |
| Світловий потік | 280 лм |

3.3.5 Halo Home

Для розширення та налаштування інтелектуальної системи пропонується також розглянути лампу Halo Home (рис. 1.12), з якою не потрібен вбудований диммер, а лише смартфон. За допомогою точної настройки колірної температури можна отримати ідеальне світлове середовище від теплого білого до денного світла (2700-5000К) (табл. 1.6).

Почати роботу можна лише з безкоштовною програмою HALO Home та Bluetooth підключенням – підключення до Інтернету та концентратора не потрібне. Додаток дає можливість керувати від увімкнення / вимкнення та затемнення до розширених функцій, таких як групування, налаштування сцени та планування. Але є і недолік, щоб користуватися голосовими командами при підключенні до Alexa або Google Assistant потрібен міст доступу до Інтернету, який продається окремо.



Рисунок 1.12 – Лампа Halo Home

Таблиця 1.6 – Характеристики лампи Halo Home

| Характеристика | Опис |
|-------------------------------|-------------|
| Бренд | Halo Home |
| Колір | Білий |
| Тип | LED |
| Напруга | 120 В |
| Потужність | 9.4 Вт |
| Діапазон колірної температури | 2700К-5000К |
| Світловий потік | 800 лм |

3.3.6 Gledopto Soposh

Ця лампа (рис. 1.13) обов'язково повинна працювати зі стандартними ZigBee шлюзами для голосового управління увімкненням/вимкненням світлодіодного світла, зміною кольору та затемнення (табл. 1.7). Потрібно використовувати джерело постійної напруги для цієї світлодіодної лампи 12 В. Цоколь MR16 був обраний, щоб задовольнити вибір користувача під час оформлення будинку або саду. Так, точкові світильники MR16, схвалені стандартами CE та RoHS, без просочення випромінюючим шаром, з видатним розсіюванням тепла в прожекторі Zigbee mr16, без мерехтіння та гудіння. Зроблена за останнім словом технологій та з найсучаснішим дизайном ця лампа може використовуватися як вбудований елемент освітлення або в найновіших освітлювальних приладах, і перевершить усі очікування, коли мова заходить про атмосферу та відбиття кольорів, освітлюючи будинок, офіс чи будь-яке інше місце, що потребує додаткового світла. Використання світлодіодів SMD 5050 + 3030 та зовнішнього покриття з алюмінієвої основи, надзвичайно доступних та енергоефективних, зекономить до 80% енергетичних витрат, при цьому змінюється 16 мільйонів кольорів, завдяки чому розумна лампа окупиться і майже не потребуватиме технічного обслуговування, бо термін служби понад 50000 годин.



Рисунок 1.13 – Лампа Gledopto Soposh

Таблиця 1.7 – Характеристики лампи Gledopto Soposh

| Характеристика | Опис |
|-------------------------------|-----------------|
| Бренд | Gledopto Soposh |
| Колір | Білий |
| Тип | LED |
| Напруга | 120 В |
| Потужність | 4 Вт |
| Діапазон колірної температури | 2700К-6500К |
| Світловий потік | 1 |

1.4 Проблеми реалізації інтелектуальної системи управління зовнішнім освітленням

Зовнішнє освітлення робить вулиці та зовнішнє середовище безпечнішими та приємнішими, але при цьому є великим споживачем енергії. Якщо повністю вимкнути світло, люди почуватимуться незахищеними. Хороший спосіб вирішити цю проблему – використовувати світлодіодне освітлення, яке можна затемнити, що зменшить споживання енергії без шкоди для безпеки.

Впровадження відповідної системи контролю залежить від кількох факторів: інвестицій, управління та енергозбереження.

Автономні системи управління є найкращим варіантом для дотримання чинного законодавства та негайного початку скорочення споживання енергії без необхідності серйозних змін чи інвестицій в інфраструктуру. Вони працюють незалежно від решти інсталяції та контролюють або регулюють світло відповідно до конкретних датчиків або програм.

Мережеві системи управління дозволяють централізоване управління групою світлових точок, тому вони спрямовані на пошук більш досконалого рішення. Цей тип системи вимагає додаткової проводки для передачі сигналу управління або власного джерела живлення світильників. Однак, якщо вже є

необхідна інфраструктура, ці рішення дуже легко встановити, пропонуючи негайний моніторинг та контроль над групами світлових точок.

Точкові системи управління мережею не тільки контролюють освітлення, але й віддалено діагностують кожну зі світлових точок. Ці рішення забезпечують більшу економію обсягу, забезпечуючи при цьому максимальну гнучкість.

Як виглядає приклад інтелектуальної системи управління зовнішнім освітленням показано на рисунку 1.14. Проблемою реалізації такої системи в даній атестаційній роботі є неможливість роботи з зовнішнім освітленням за недоліком прав та необхідних технічних елементів, тому буде розглянута та реалізована спрощена версія для внутрішнього освітлення з найбільш вагомими перевагами над звичайним освітленням, такими як економність, можливість регулювати колір та яскравість, і, що не менш важливе і менш за все розглянуто на даний момент, колірну температуру освітлення.

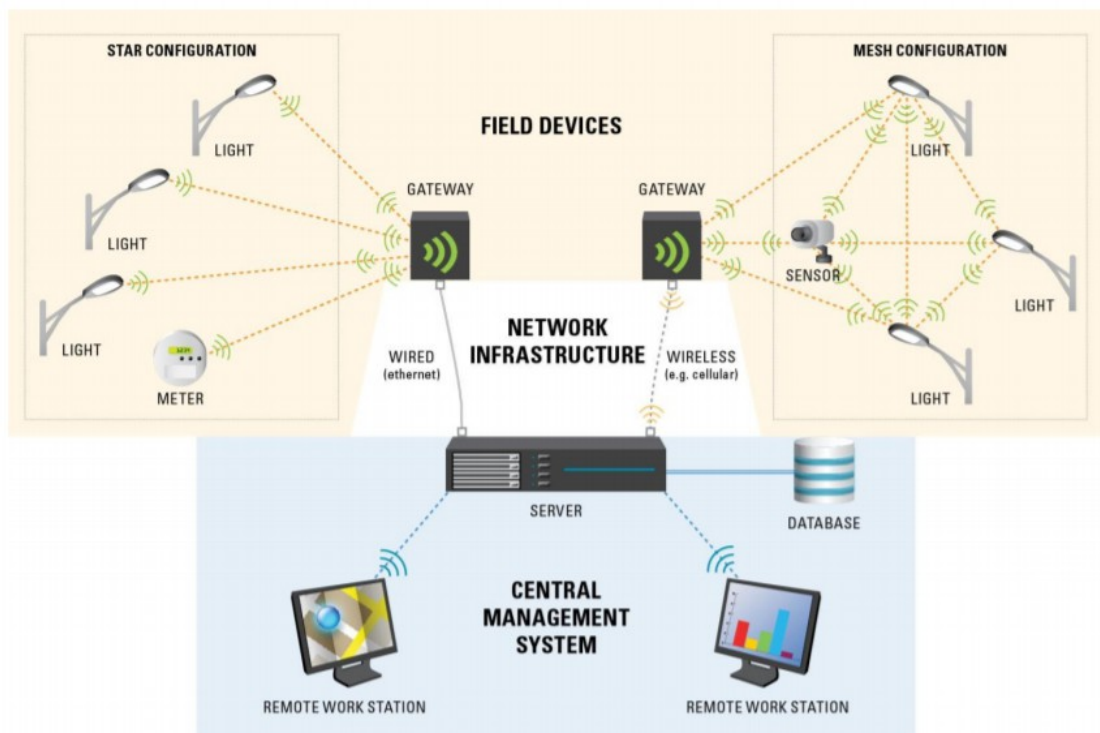


Рисунок 1.14 – Інтелектуальна система управління зовнішнім освітленням

Підключені або інтегровані системи управління світлом найпростіші в установці і можуть бути інтегровані з різними мережевими системами управління. Таким чином, можна не тільки контролювати освітлення, але й дистанційно діагностувати кожен з точок світла. Це можливо завдяки датчикам, вузлам управління, шлюзам, комунікаціям тощо. Ці рішення забезпечують найбільший обсяг енергозбереження, забезпечуючи при цьому максимальну гнучкість.

Можна поєднати різні системи управління, які адаптуються до кожного району міста, керуючи з єдиної платформи, звідки можна здійснити трансформацію міста. Ця платформа, яка працює вертикально та автономно, може бути інтегрована з горизонтальною платформою міста та інтегрована з іншими службами, утворюючи частину пов'язаного міста. Ця концепція має високий потенціал, завдяки використанню та кореляції зібраних даних, що відкриває можливість використання передових аналітичних методів та обробки великих даних, які допомагають приймати стратегічні рішення.

Впровадження світлодіодної технології сприяє поновленню освітлювальної інфраструктури, забезпечуючи зростання інновацій у містах та технологій, заснованих на безпечній системі освітлення, надійній та пов'язаній із широким спектром продуктів та супутніх послуг.

Нова інтелектуальна цифрова технологія відіграє ключову роль у відповіді на запити міст та громадян. Покращена інфраструктура освітлення підтримує зв'язок та зменшує експлуатаційні витрати на обслуговування екологічно стійким способом. Інтелект – це логічний крок, щоб зробити місто завтрашнього дня більш ефективним, заощадити більше енергії, адаптуватися до нових ситуацій і бути завжди готовим до майбутнього, оснащеним системами, якими можна дистанційно керувати та контролювати в реальному часі.

Підключене освітлення є невід'ємним рішенням, яке дозволяє муніципальній владі пропонувати кращі послуги з освітлення. Інші системи або платформи можуть бути підключені через API до освітлювальної платформи (вертикальної). Важливо інтегрувати всю інформацію, яку генерують служби, в даному випадку освітлення, у відкриту, стандартну та взаємодіючу горизонтальну платформу, яка, як технологічний елемент, відповідає за уніфіковане управління.

1.4 Постановка завдання

Керування світлом в інтелектуальній системі досягається натисненням однієї кнопки на смартфоні або пульті ДУ. В цій системі нема необхідності встановлювати вимикачі, таким чином з'являється можливість за допомогою смартфона чи пульта налаштовувати лампи, люстри, вуличні світильники або ліхтарі одним рухом так, як того бажає користувач: як просто ввімкнути їх або вимкнути, так і плавно регулювати їх яскравість, або змінювати режими роботи.

В атестаційній роботі розглядається така науково-практична задача, як система управління освітленням на базі Arduino. Щоб досягти цієї мети, необхідно зробити наступне:

- 1) проаналізувати проведені дослідження щодо впливу колірної температури на людину;
- 2) проаналізувати існуючі системи управління освітленням;
- 3) обрати найбільш відповідний варіант реалізації;
- 4) показати можливість використання Arduino для впровадження системи управління освітленням.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОЛІРНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ

2.1 Вплив освітленості та корельованої колірної температури світлодіодного освітлення на короткочасну пам'ять

Інтерес до впливу світла на людину був прискорений появою світлодіодного освітлення. Причиною є те, що світлодіодне освітлення просте в експлуатації і може бути легко застосовано до різних сцен, що робить його придатним для досліджень світла. Більше того, з поширенням культури добробуту сучасних людей, бажання активно будувати оптимальне світлове середовище, не лише для освітлення, теж сприяло дослідженню світла. Різні світлові дослідження звітують, що світло впливає на людські емоції, а також на збудження, сон, втому, когнітивні показники та пам'ять [3–7]. Зокрема, пам'ять – дуже важлива тема сучасного суспільства. Причиною є те, що пам'ять тісно пов'язана з навчанням, яке представлене освітою, та деменцією, однією з проблем сучасності. Відповідно, багато досліджень зосереджувались на взаємозв'язку між світлом і пам'яттю, сфокусованому на короткочасній пам'яті [3, 5, 7].

Характеристики світла можна в значній мірі розділити на дослідження, проведені переважно щодо освітленості, дослідження колірної температури та кольору світла, та дослідження, які не є систематичними, але враховують освітленість та колірну температуру світла разом. Більшість досліджень, що стосуються інтенсивності освітлення та короткочасної пам'яті, показують, що яскраве світло є більш ефективним для останньої, ніж відносно неяскраве,

але деякі дослідження не виявили поліпшення короткочасної пам'яті при яскравому світлі або, навіть, повідомляли, що ефективність знижувалася при цих умовах [8–10]. Наприклад, Хейбертс та співавтори вимірювали короткочасну пам'ять за допомогою арифметичних завдань при освітленості 200 лк та 1000 лк вранці та вдень. Як результат, при виконанні легких завдань вдень, яскраве світло призводить до поліпшення короткочасної пам'яті. Однак у експерименті зі складними завданнями, проведеному вдень, суперечливі результати досліджень показали, що яскраве світло, навпаки, погіршує продуктивність [5]. Крім того, дослідження Смолдерса та де Корта, які вивчали вплив освітленості (200 лк та 1000 лк) та втоми на короткочасну пам'ять, показало, що правильна реакція на завдання була ефективною при відносно неяскравих 200 лк [8].

З іншого боку, дослідження, присвячені колірній температурі світла та короткочасній пам'яті, показують досить неоднозначні результати. Кенц перевіряв вплив колірної температури освітлення на вільне згадування та вирішення проблем. Як результат, вільне згадування було найкращим при 3000 К та відносно низьким і без спостереження значної різниці між 4000 К та 5500 К. І здатність вирішувати проблеми також була найкращою в умовах колірної температури 3000 К і добре показала себе між 4000 К та 5500 К. Ці дослідження повідомили, що колірна температура 3000 К відрізнялася більшою різницею в продуктивності, ніж інші показники [11]. Крім того, Чжу та співавтори виміряли короткочасну пам'ять при 3000 К і 6500 К і виявили, що колірна температура 3000 К має кращий вплив, ніж при 6500 К [12]. Однак у дослідженні впливу колірної температури на когнітивні показники в офісному середовищі, проведеному Кнезом та Енмаркером, не було знайдено суттєвої різниці між показниками від 3000 К (червонуватий) до 4000 К (синюватий) [13]. Інші дослідження повідомляють, що показники колірної температури понад 6000 К чудово підходять для уваги та короткочасної пам'яті. Хауес та ін. повідомили, що ефективність короткочасної пам'яті, така як завдання ідентифікації символів та розпізнавання кольорів, була

найкращою за умов високої колірної температури 6029 К [14]. І дослідження Челлаппи та співавторів показали, що когнітивні показники були найкращими за умов 6500 К [4].

Таким чином, дослідження колірної температури та короткочасної пам'яті на сьогоднішній день повідомляють більш суперечливі результати, ніж дослідження освітленості та короткочасної пам'яті. Можна припустити, що причина зумовлена різноманітністю експериментальних середовищ, включаючи освітлення та завдання короткочасної пам'яті. Це вважається феноменом, оскільки досліджень між колірною температурою та короткочасною пам'яттю все ще недостатньо. Насправді, в перші дні вивчення освітленості було багато суперечливих результатів досліджень, але, оскільки проводилося більше досліджень, було доведено, що короткочасна пам'ять була чудовою в умовах яскравого освітлення.

Хоча, принаймні деякі дослідження враховували як освітленість, так і колірну температуру, щоб дослідити оптимальне освітлювальне середовище для короткочасної пам'яті. Чжу та ін. зосередилися на двох показниках освітленості (200 лк та 1200 лк) та двох показниках колірної температури (3000 К та 6500 К), щоб побачити, як умови освітленості впливають на короткочасну пам'ять вранці та вдень, та перевірили це. В результаті було встановлено, що реакція на когнітивну діяльність була найповільнішою при 200 лк та 6500 К, а точність когнітивної діяльності була вищою в умовах яскравого освітлення, ніж у умовах слабкого [12]. Крім того, Ру та інші також оцінили когнітивну діяльність за двох показниках освітленості (100 лк та 1000 лк) та двох показниках колірної температури (3000 К та 6500 К). У цьому дослідженні було виявлено, що швидкість реакції на когнітивну діяльність є чудовою у при відносно яскравій освітленості 1000 лк. Однак статистичної різниці між показниками колірної температури не було виявлено [15].

Однак, більшість попередніх досліджень проводились в надмірно екстремальних умовах освітлення, а деякі дослідження були розроблені для

біноміальних експериментів, таких як яскраве і тьмяне світло, холодна і тепла колірні температури. Біноміальна експериментальна конструкція може перевірити вплив світла на пам'ять, але існує обмеження, що вона не може бути пояснена щодо детальних аспектів. Крім того, багато досліджень підтвердили ефективність короткочасної пам'яті через незалежні умови освітленості або колірної температури. Хоча деякі дослідження розглядали останні дві разом, їх кількість дуже мала, а результати дуже неоднозначні. Оскільки і освітленість, і колірна температура є змінними, які можуть впливати на пам'ять, пошук оптимального середовища освітлення для короткочасної пам'яті можливий лише тоді, коли освітленість і колірна температура розглядаються разом. Тому це дослідження було проведено для систематичної перевірки впливу світла на короткочасну пам'ять за допомогою більш суцільної експериментальної конструкції, враховуючи освітленість та колірну температуру разом із акцентом на світлодіодному освітленні. Крім того, це дослідження мало на меті дослідити та запропонувати оптимальне освітлювальне середовище для короткочасної пам'яті, яке застосовуватиметься до реального життя.

2.1.1 Учасники дослідження

В цьому експерименті брали участь 30 учасників: 19 чоловіків та 11 жінок, а середній вік становив 21,6 рік ($SD = 1,92$). До початку експерименту було роз'яснено орієнтацію та метод реалізації завдань протягом експерименту, а завдання, які слід було виконати з метою поліпшення пристосованості експерименту, були попередньо проведені. Завдяки цьому були перевірені когнітивні порушення учасників та їх відповідність для участі.

Крім того, були вжиті наступні заходи для контролю інших змінних, які можуть вплинути на учасників експерименту та забезпечення незмінного стану учасників. По-перше, перш ніж учасники брали участь в експерименті, від них отримували поруку. Зміст поруки включав в себе вартість участі в

експерименті, а також запит про висипання та утримання від вживання алкоголю чи кофеїну, якщо це можливо. Вартість участі в експерименті була досить стимулюючою з точки зору учасника, і було сказано, що якщо учасник порушив запит, або не активно проводив експеримент, вартість експериментальної участі не оплачується. Завдяки цьому було докладено зусиль для суворого контролю участі учасників експерименту.

По-друге, було запитано про стан учасників усно перед початком експерименту. Було перевірено, чи не було ситуації, що порушує запит, включаючи сон, і чи був суб'єктивний стан поточного учасника достатнім для експерименту.

2.1.2 Середовище дослідження

Для цього експерименту було розроблено та використано автоматичний світлодіодний освітлювальний пристрій на основі датчика освітленості та системи управління освітленням, які були розроблені для побудови систематичного освітлювального середовища. Структура автоматичного освітлювального пристрою складалася з вимикача живлення, гнізда для підключення живлення, частини датчика, внутрішнього радіатора, пластини дифузора світла та прикріпленого брикету, як показано на рисунку 1. Також датчики колірної температури та освітленості були прикріплені до частини датчика в куті освітлення, як показано на рисунку 2.1. Вхідна потужність цього пристрою становить 24 В постійного струму, а в якості джерела світла використовувався потужний світлодіод. Потужність світла становить приблизно 10-20 Вт, а тип кріплення на світлодіоді оснащений окремим сталевим кронштейном. Матеріал корпусу був виготовлений з алюмінію, а робоча температура була розрахована на експлуатацію при -10°C

~ 70°C. Пристрій автоматичного освітлення було обладнано бездротовою мережею 2,4 ГГц, завдяки чому ним можна було керувати як в ПК, так і в мобільному середовищі. Крім того, розміри автоматичного освітлювального приладу становили 700×60×45 (мм). Освітлення було у формі підставки і використовувалося у вигляді місцевого освітлення для освітлення поверхні робочого столу. Умови освітлення розглядалися двома показниками освітленості (400 лк тьмяного світла та 1000 лк яскравого світла) та трьома корельованими показниками колірної температури (3000 К, 5000 К та 7000 К). Розподіл спектральної потужності відповідно до корельованої колірної температури показано на рисунку 2.2. Для цього дослідження було сформовано експериментальне середовище, таке як на рисунку 2.3. У лабораторії світло від інших джерел було заблоковано за допомогою світлозахисної завіси. Експериментальну лабораторну температуру підтримували на рівні 24°C ± 4°C та при 50% ± 10% вологості, щоб відповідати умовам PMV стандартів ASHRAE. Крім того, умови освітлення обробляли на основі ідентифікаційного знака (+), позначеного посередині робочого столу, як показано на рисунку 2.3.



Рисунок 2.1 – Автоматичний пристрій світлодіодного освітлення на основі датчиків світла

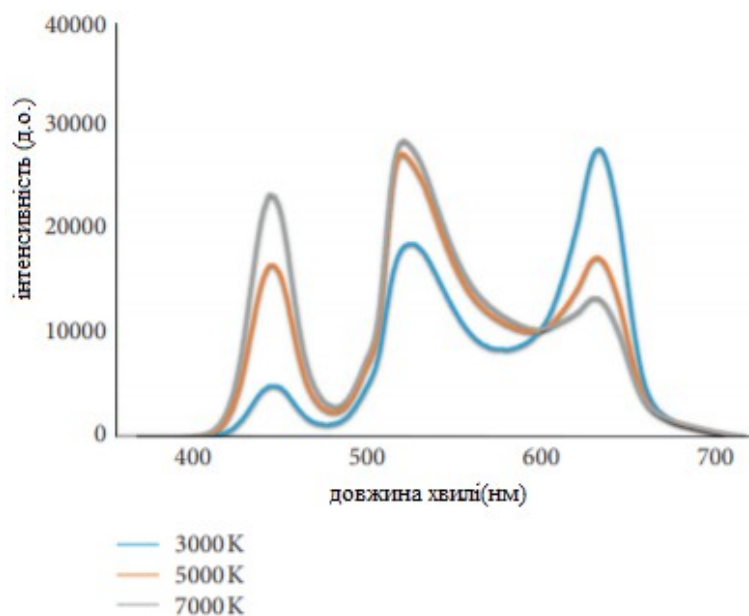


Рисунок 2.2 – Спектральний розподіл потужності

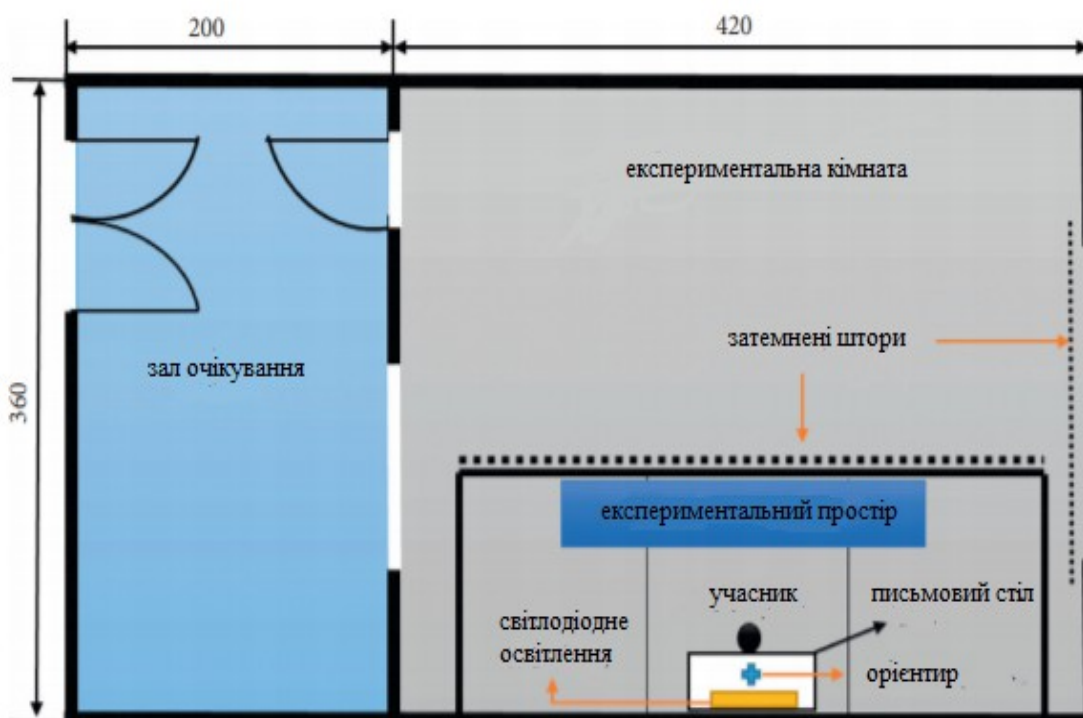


Рисунок 2.3 – Експериментальна лабораторія

2.1.3 Інструмент вимірювання короткочасної пам'яті

Короткочасну пам'ять вимірювали за допомогою n-назад тесту, як одного з загальночисельних завдань. Завдання n-назад часто

використовується в психології та когнітивній неврології як завдання вимірювання короткочасної пам'яті або частини короткочасної пам'яті, вперше представлене Кіршнером [16]. Завдання n-назад – це завдання для визначення того, чи дається безперервний стимул і чи відповідає поточний стимул попередньому стимулу n-го порядку. У міру збільшення n-задачі із зворотною стороною складність завдання зростає та коригується за допомогою n. У цьому експерименті короткочасна пам'ять оцінювалася за допомогою 3-назад завдання.

2.1.4 Процедура експерименту

У цьому дослідженні, за допомогою експерименту з повторним вимірюванням, усі учасники брали участь у всіх шести експериментальних умовах (умова А: 400 лк, 3000 К, умова В: 400 лк, 5000 К, умова С: 400 лк, 7000 К, умова D: 1000 лк, 3000 К, умова Е: 1000 лк, 5000 К, умова F: 1000 лк, 7000 К), обраних випадковим чином. Спочатку учасники адаптувались до освітлювального середовища через 2 хвилини після адаптації до темряви та 2 хвилини після адаптації до світла. Згодом 3-назад завдання виконувалось протягом 5 хвилин, а кількість правильних відповідей серед відповідних завдань було використано як залежну змінну. Цей експеримент проводився лише протягом 4 годин з 14:00 до 18:00 з урахуванням сонливості після прийому їжі тощо. Щоб мінімізувати перешкоди попереднього експерименту, учасникам тесту було призначено лише одна експериментальна умова на день.

2.1.5 Метод статистичного аналізу

Для всіх змінних була розрахована описова статистика. Потім, щоб проаналізувати вплив освітленості та колірної температури на короткочасну пам'ять, проводили повторний дисперсійний аналіз мір (ANOVA) за двох умов освітленості та трьох колірних температур. Крім того, різницю в короткочасній пам'яті відповідно до шести умов освітлення проводили за

допомогою одного рівня дисперсійного аналізу повторних вимірів (ANOVA). Аналіз постфактум проводили з використанням методу найменш значущої різниці. Значимість визначали як $p < 0,05$.

2.1.6 Результат дослідження

В результаті описового статистичного аналізу короткочасної пам'яті за освітленістю та корельованою колірною температурою, як показано в таблиці 2.1, середнє число правильних реакцій становило 53,4 (стандартне відхилення = 18,38) при освітленості 1000 лк та 5000 К, що означало, що продуктивність короткочасної пам'яті була найкращою. З іншого боку, при 400 лк та 7000 К середня продуктивність становила 42,73 (стандартне відхилення = 17,68), що вказує на те, що продуктивність короткочасної пам'яті була найнижчою. Для аналізу впливу освітленості та корельованої колірної температури світлодіодного освітлення на короткочасну пам'ять проводили аналіз дисперсійних вимірювань (ANOVA). В результаті дисперсійного аналізу як освітленість ($F = 5,36$, $p < 0,03$), так і корельована колірна температура ($F = 7,34$, $p < 0,00$), як показано в таблиці 2.2, виявилися значущими змінними, що впливають на короткочасну пам'ять при 95% рівні достовірності. Однак ефекту взаємодії між освітленістю та колірною температурою не було.

Таблиця 2.1 – Описова статистика короткочасної пам'яті за освітленістю світла та корельованою колірною температурою (ККТ)

| ККТ/ Освітлен- ність | 400 лк | | 1000 лк | | Тотал | | N |
|----------------------------|---------|-----------------------|---------|-----------------------|---------|-----------------------|----|
| | Середнє | Стандартне відхилення | Середнє | Стандартне відхилення | Середнє | Стандартне відхилення | |
| 3000 К | 43.70 | 17.00 | 45.73 | 18.77 | 44.72 | 16.24 | 30 |
| 5000 К | 48.97 | 18.51 | 53.43 | 18.38 | 50.70 | 16.41 | 30 |
| 7000 К | 42.73 | 17.68 | 45.80 | 17.73 | 44.27 | 15.40 | 30 |
| Тотал | 44.80 | 15.29 | 48.32 | 15.63 | | | |

Таблиця 2.2 – Аналіз впливу освітленості та корельованої колірної температури (ККТ) на короткочасну пам'ять

| | Сума квадрату | Ступінь свободи | Середньоквадратичне значення | F | p |
|------------------------------------|---------------|-----------------|------------------------------|------|--------|
| Освітленість | 558.27 | 1 | 558.27 | 5.36 | * |
| ККТ | 1547.81 | 2 | 773.91 | 7.34 | 0.00** |
| Освітленість * колірна температура | 93.08 | 2 | 45.54 | 0.31 | 0.74 |

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

Згодом підтвердження проводили методом найменш значущої різниці (LSD), щоб проаналізувати різницю між кожною умовою освітленості та корельованою колірною температурою в короткочасній пам'яті. В результаті аналізу було виявлено, що освітленість більш ніж 1000 лк ($M = 48,32$, $SD = 2,85$) для короткочасної пам'яті має значно кращий ефект, ніж за умови 400 лк ($M = 44,80$, $SD = 2,80$), як показано в таблиці 2.3. Можна сказати, що результати підтверджують попередні дослідження чудової короткочасної пам'яті при відносно яскравому світлі.

Таблиця 2.3 – Різниця перевірок впливу освітленості на короткочасну пам'ять

| | Середня різниця (I-J) | Стандартна помилка | p |
|--|-----------------------|--------------------|---|
| | | | |

| | | | |
|-------------------------------|------|------|-------------------|
| 1,000 лк (I) проти 400 лк (J) | 3.52 | 1.52 | 0.03 [*] |
|-------------------------------|------|------|-------------------|

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

Також після перевірки різниці корельованих колірних температур було встановлено, що існує статистично значуща різниця між значенням у 3000 К (середнє = 44,72, стандартне відхилення = 2,97) та значенням у 5000 К (середнє = 50,7, стандартне відхилення = 3,0), а також значеннями у 5000 К та 7000 К (середнє = 44,27, стандартне відхилення = 2,81), і як результат, при умові 5000 К був найбільший вплив на продуктивність короткочасної пам'яті, як показано в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Різниця перевірок впливу колірної температури на короткочасну пам'ять

| | Середня різниця (I-J) | Стандартна помилка | p |
|-----------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| 5000 К (I) проти 3000 К (J) | 5.98 | 1.74 | 0.00 ^{**} |
| 5000 К (I) проти 7000 К (J) | 6.43 | 1.76 | 0.00 ^{**} |
| 3000 К (I) проти 7000 К (J) | 0.45 | 2.10 | 0.83 |

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

Підсумовуючи, умова при 1000 лк та 5000 К була найкращою для роботи короткочасної пам'яті відповідно до освітленості та корельованої колірної

температури, як показано на рисунку 2.4. При умовах 400 лк та 5000 К, 1000 лк та 3000 К, і в умовах 1000 лк та 7000 К було встановлено, що це відмінне освітлювальне середовище для короткочасної пам'яті. З іншого боку, умови при 400 лк та 7000 К були найгіршим освітлювальним середовищем для короткочасної пам'яті.

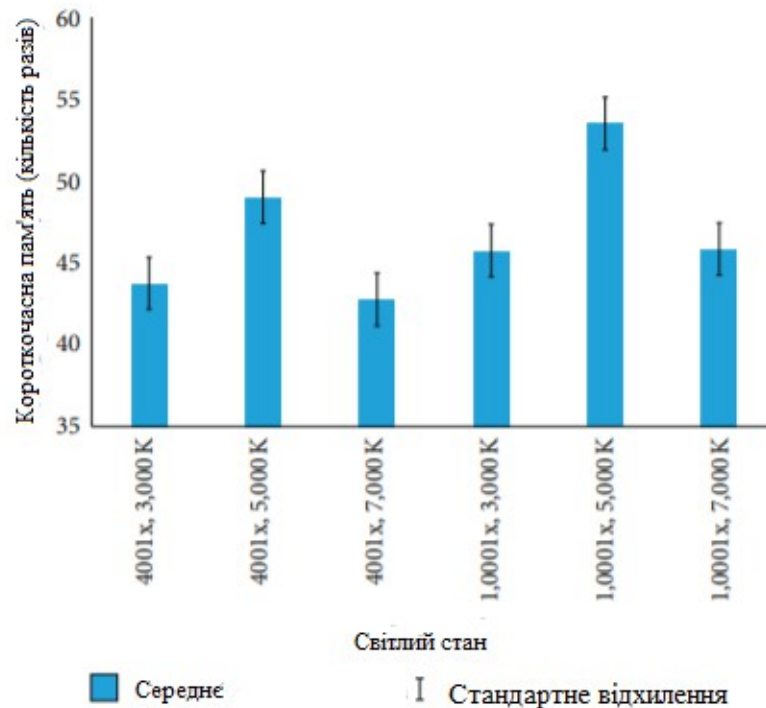


Рисунок 2.4 – Різниця в короткочасній пам'яті залежно від освітленості світла та стану колірної температури

Завдяки цьому дослідженню було встановлено, що короткочасна пам'ять є найкращою в умовах відносно яскравої освітленості 1000 лк та найкращою в умовах 5000 К кольорової температури. Ці результати підтверджують попередні дослідження про те, що короткочасна пам'ять краща при яскравому світлі. Однак з точки зору колірної температури можна сказати, що результат суперечить попередньому дослідженню, яке показало, що короткочасна пам'ять була чудовою при приблизно 3000 К або 4000 К або вище 6000 К. Крім того, у цьому дослідженні короткочасна пам'ять була виявлена найгіршою за колірної температури 7000 К. Схоже що це потрібно неодноразово перевіряти шляхом більш систематичних досліджень.

І завдяки цьому експерименту було встановлено, що найкращими умовами світлодіодного освітлення для короткочасної пам'яті є 1000 лк та 5000 К.

2.1.7 Висновки дослідження

Це дослідження було проведено для того, щоб перевірити вплив освітленості та корельованої колірної температури на короткочасну пам'ять та дослідити оптимальне освітлювальне середовище, яке може активувати короткочасну пам'ять. В результаті дослідження як освітленість, так і корельована колірна температура були суттєвими змінними, що впливали на короткочасну пам'ять, і серед освітлювальних середовищ, що використовувались в експерименті, було встановлено, що стан освітлення при 1000 лк та 5000 К є найкращим освітленням для короткочасної пам'яті. Більш конкретні результати наступні.

По-перше, завдяки цьому дослідженню було перевірено, що продуктивність короткочасної пам'яті відмінна у відносно легкому стані. Можна сказати, що ці результати підтверджують попередні дослідження чудової короткочасної пам'яті при високій освітленості.

По-друге, у цьому дослідженні було встановлено, що умови при корельованій колірній температурі 5000 К позитивно впливають на короткочасну пам'ять.

Нарешті, завдяки цьому дослідженню було встановлено, що освітлювальне середовище 1000 лк та 5000 К є кращою умовою освітлення для короткочасної пам'яті, ніж інші. Звичайно, умови освітлення, що були використані в цьому дослідженні, все ще мають обмеження, щоб відобразити все освітлення. Однак це дослідження є важливим тим, що воно досліджує продуктивність короткочасної пам'яті, враховуючи освітленість і колірну температуру разом, і пропонує стандарт для освітлювального середовища, який можна максимально корисно використовувати для короткочасної пам'яті.

Незважаючи на ці висновки, це дослідження все ще має обмеження щодо неврахування різних змінних, які можуть впливати на короточасну пам'ять через експериментальні умови. По-перше, цей експеримент не враховував часові змінні, такі як ранок та полудень. Як показано в дослідженні Хейбертса та співавторів [5], існує ймовірність того, що виконання завдань вранці або вдень впливає на короточасну пам'ять. Однак у цьому дослідженні експеримент проводився лише в другій половині дня з 2 до 6 годин. Необхідно уточнити, як освітленість та різниця в колірній температурі впливають на короточасну пам'ять вранці та вдень за допомогою майбутніх досліджень. По-друге, учасниками цього експерименту були в основному студенти коледжів на початку двадцятих років. Спогади явно відрізняються залежно від вікової групи, наприклад, молоді та людей похилого віку, і існує велика ймовірність того, що ефекти освітленості та колірної температури також різняться. Для майбутніх досліджень оцінюється необхідність організації більш систематизованого експерименту для учасників експерименту більш широкого віку. Нарешті, у майбутніх дослідженнях вважається необхідним подальше посилення контролю за експериментом у лабораторному середовищі та за учасниками експерименту. Хоча це не враховується в описаному дослідженні, якщо включити кількість CO_2 у лабораторії та вимірювання стресу учасника експерименту, вважається, що можна досягти більш систематичного дослідження.

2.2 Вплив колірної температури на виконання завдань та мозкові хвилі дітей шкільного віку

На емоції людей прямо і опосередковано впливають не тільки природне, а й штучне середовище. Інтерес зростає до оточень з внутрішнім освітленням, які щодня використовуються в штучних середовищах. Різні дослідження повідомляли, що світло, випромінюване від внутрішнього

освітлення, впливає на когнітивні, фізичні та сенситивні аспекти людини, такі як зоровий [17] та звичайний комфорт [18-24].

Внутрішнє освітлення оцінюється за освітленістю, а колірна температура впливає на психологічні реакції людини. Колір освітлення називається колірною температурою (CCT, корельована колірна температура). Вона представляє собою колір світла, що генерується джерелом світла, при певному значенні температури, так колірна температура флуоресцентної лампи, як правило, знаходиться в діапазоні від 2500 до 6500 К. Більш низька колірна температура вказує на вищу інтенсивність червоного кольору, а частка загального червоного кольору зменшується, коли кольорова температура вища, оскільки спектр синього збільшується [25]. Колірна температура, базована на чутливості людини, забезпечить ефективність роботи у навчанні та виконанні завдань, якщо вона використовується відповідно до програми та цілей користувача [26-28]. Однак, оцінка впливу колірної температури в основному була представлена в рамках суб'єктивних оцінок. Навіть під час досліджень із використанням об'єктивних вимірювань систематичний аналіз показав, що характеристики завдань були неефективними. У цьому дослідженні для того, щоб дослідити вплив колірної температури на виконання завдань, мозкову хвилю вимірювали як фізіологічну оцінку, а також проводили опитувальник для самостійного звітування, що вимірював емоційні реакції, разом із вимірюванням часу виконання завдання, щоб дослідити вплив колірної температури на виконання завдання.

Це дослідження досліджувало зміни колірної температури, які тісно пов'язані із зоровими елементами, що впливають на виконання завдань, щоб представити наукові докази, засновані на кількісному методі вимірювання з використанням аналізу мозкових хвиль. Мозкові хвилі – це електричні потоки, що проходять між черепно-мозковими нервами. Вони є найважливішими мірками діяльності мозку і змінюються залежно від фізичного та психічного стану [29-31]. Вони реєструються за допомогою

електродів, прикріплених до шкіри голови, за допомогою нейрофізіологічного методу вимірювання електричної активності мозку. Отримані сигнали називаються електроенцефалограмами (ЕЕГ) або мозковими хвилями.

Це дослідження було зосереджене на низьких та високих бета-хвилях, які виявляються при концентрації та навчанні, аналізуючи зміни ЕЕГ як фізіологічні реакції на виконання завдання, що залежать від колірної температури. Одночасно вимірювали час виконання завдання, щоб з'ясувати його зв'язок із колірною температурою не лише як фізіологічну реакцію на фізичне середовище, а й для забезпечення наукових доказів відповідних фізичних середовищ, які можуть покращити ефективність роботи. Вважається, що оптична колірна температура для продуктивних часу виконання та характеристик завдань сприяє більш ефективному фізичному середовищу для лікування та навчання.

2.2.1 Предмети та методи дослідження

Це дослідження проводилось з березня 2013 року по вересень 2013 року. Обстежуваними були тридцять дітей початкової школи п'ятого класу. Дослідження було схвалено лікарнею, і всі учасники надали письмову інформовану згоду. Критерієм відбору була відсутність історії прийому ліків від неврологічних захворювань чи захворювань головного мозку, і виключалися випробовувані з низьким балом мовних знань порівняно з груповим скринінговим тестом. Після застосування критеріїв відбору у 24 випробовуваних виміряли мозкову хвилю з 29, що проходили анкетування.

Електроди для аналізу мозкових хвиль прикріплювали до шкіри голови, а випробовувані виконували головоломні завдання під білими або помаранчевими лампами.

Лабораторія мала прямокутну форму і містила достатню кількість парт та стільців. Вікна були екрановані, щоб заблокувати вплив зовнішнього світла, а стіни, парти та стільці були білими для стабільності колірної

температури. Люмінесцентні лампи з колірною температурою 2700 К і 6400 К були встановлені на стелі на одній висоті і підключені до вимикачів.

Електроенцефалограми вимірювали за допомогою EEG-1200 (Neurofax, Німеччина). Стабільні EEG вимірювали перед ознайомленням завдань та виконанням завдання. Місця електродів, прикріплених до скальпів, відповідали міжнародній системі електродів 10/20, чотири області Fp1 (ліва передня частина), Fp2 (права передня частина), F3 (ліва лобова частина), F4 (права лобова частина) та O1 (ліва потилична частина) та O2 (права потилична частина), використовуючи метод моноклональної деривації [32-34].

Частота дискретизації EEG становила 256 Гц. Вихідні дані були зібрані за допомогою TeleScan Ver.3.06 (Laxtha, Південна Корея) та розраховані відносні значення потужності кожної смуги хвиль.

Дані, зібрані в експерименті, були статистично оброблені за допомогою SPSS Ver.18.0 для Windows. Оброблені дані представлені як середнє та стандартне відхилення. Загальні характеристики суб'єктів аналізували за допомогою описової статистики, а парний t-тест використовували для аналізу змін мозкових хвиль залежно від колірної температури. Значимість була прийнята для значень $p < 0,05$.

2.2.2 Результати дослідження

Було вибрано 24 суб'єкти: 13 студенток (54,2%) та 11 студентів (45,8%) із середнім віком 11,24 ($\pm 0,24$) років (таблиця 2.5).

Таблиця 2.5 – Загальна характеристика досліджуваних

| Категорія | | Кількість % | | М (\pm SD) |
|-----------|---------|-------------|-------|---------------------|
| Гендер | Чоловік | 11 | 45.8% | 11.24 (\pm 0.24) |
| | Жінка | 13 | 52.4% | |

Під час виконання завдання-головоломки аналіз альфа-хвиль показав активацію в зоні O2 під помаранчевою лампою, а низькі та високі бета-хвилі показали активацію в області F3 під білою лампою (таблиця 2.6).

Таблиця 2.6 – Зміни ЕЕГ під час виконання завдання-головоломки

| Категорія | Область | Біла лампа, M±SD | Помаранчева лампа, M±SD |
|-----------------------|---------|---------------------|-------------------------------|
| Альфа-хвиля | Fp1 | 0.16±0.02 | 0.15±0.03 |
| | Fp2 | 0.16±0.03 | 0.16±0.03 |
| | F3 | 0.20±0.03 | 0.19±0.03 |
| | F4 | 0.20±0.03 | 0.19±0.04 |
| | O1 | 0.20±0.04 | 0.19±0.04 |
| | O2 | 0.08±0.02 | 0.20±0.04* |
| Бета-хвиля | Fp1 | 0.15±0.07 | 0.14±0.06 |
| | Fp2 | 0.16±0.08 | 0.16±0.08 |
| | F3 | 0.20±0.06* | 0.19±0.07 |
| | F4 | 0.21±0.06 | 0.23±0.08 |
| | O1 | 0.30±0.05 | 0.30±0.04 |
| | O2 | 0.28±0.05 | 0.30±0.04 |
| Висока бета- хвиля | Fp1 | 0.06±0.05 | 0.06±0.03 |
| | Fp2 | 0.07±0.06 | 0.07±0.04 |
| | F3 | 0.09±0.04* | 0.08±0.04 |
| | F4 | 0.10±0.04 | 0.10±0.04 |
| | O1 | 0.15±0.42 | 0.15±0.04 |
| | O2 | 0.14±0.04 | 0.14±0.03 |

Fp: лобова стовпова частина, F: лобова частина, O: потилична частина.

$p < 0,05$.

Час виконання завдання-головоломки для різних колірних температур становив 353,1 (± 67,7) секунди під білою лампою та 259,6 (± 42,5) секунди під помаранчевою лампою (таблиця 2.7).

Таблиця 2.7 – Час виконання завдання відповідно до колірної температури

| Категорія | Біла лампа, M±SD | Помаранчева лампа, M±SD |
|-----------------------------|---------------------|----------------------------|
| Час виконання ГОЛОВЛОМКИ | 353.1±67.7 | 259.6±42.5 |

Відповіді на опитувальник для самозвітів з використанням емоційного словника вказували на те, що біла лампа описувалась термінами «яскравий, чистий», а помаранчева лампа – словами «блискучий, м'який, приємний, розслаблений та відкритий» (таблиця 2.8).

Таблиця 2.8 – Результат оцінки емоційного словника відносно до ККТ

| | Біла лампа, M±SD | Помаранчева лампа, M±SD |
|--------------|------------------|----------------------------|
| Яскравий | 7.97±1.61 | 7.45±1.66 |
| Чистий | 7.93±1.44 | 6.66±1.86 |
| Блискучий | 4.17±1.87 | 8.10±2.54 |
| М'який | 5.83±2.58 | 8.69±1.44 |
| Приємний | 6.66±1.99 | 8.48±1.77 |
| Розслаблений | 5.79±2.06 | 8.69±1.26 |
| Відкритий | 6.24±1.62 | 8.21±1.35 |

2.2.3 Висновки дослідження

У цьому дослідженні було проведено аналіз мозкових хвиль, щоб вивчити вплив колірної температури на виконання завдання, і була виконана анкета, щоб зрозуміти фактори чутливості.

Результати аналізу мозкових хвиль у стані спокою перед завданнями показують, що середовище з низькою колірною температурою (2700 К, лампа помаранчевого кольору) ефективно в створенні розслаблюючого середовища, наприклад, викликаючи сонливість [35], засноване на результаті, що альфа-

хвилі в О2 області були більш активізовані нижчою колірною температурою, і лише в потиличній частині О2, на відміну від високої колірної температури, яка більше активізувала мозкові хвилі в лобовій частині.

Під час виконання завдання-головоломки бета-хвилі з'явилися на F3 частині під білою лампою. Бета-хвилі поділяються за частотою на низькі: 13-20 Гц та високі: 20-30 Гц. Бета-хвилі з'являються при виконанні когнітивних функцій високого ступеню, таких як нормальне висипання та концентрація уваги. Головоломки, які часто використовується як допоміжний матеріал для навчання, вимагають обґрунтування просторових взаємозв'язків та логічного мислення [36-38], а дослідження показали, що лобова частина активізується більше [26] під час виконання головоломок. Під час виконання завдання-головоломки в цьому дослідженні відбулася активація лівої лобової частини. Це узгоджується з дослідженнями, які показують, що головоломки, що вимагають просторової концепції [39, 40] активізують цю область мозку.

Нинішні результати розслаблення та стабільності не гарантовані, коли колірна температура низька, а концентрація та когнітивна активність не є нижчими, коли колірна температура висока.

Дивлячись на результати виконання завдань за різних колірних температур, здається, що емоційні фактори є більш впливовими, ніж зміни в мозкових хвилях та біологічні зміни.

Що стосується фізіологічної реакції, хвилі, пов'язані з концентрацією, сильніше виникали під білою лампою, але при фактичному виконанні завдання кращі показники були помічені під помаранчевою лампою, що представляє стабільність і розслабленість. Здається, що більш емоційні почуття, викликані помаранчевою лампою, призвели до кращого виконання завдань.

Дослідження того, яке фізичне середовище впливає на фізіологічні реакції, є дуже важливим. Відповідне середовище, представлене відповідною колірною температурою, залежно від атрибутів та елементів розпізнавання

завдання чи навчального середовища, забезпечить не тільки стабільність та розслабленість, але й покращить виконання конкретних завдань.

У фізичному середовищі колірна температура пов'язана із зоровими елементами внутрішнього освітлення та відіграє важливу роль у визначенні психологічних та фізичних аспектів [41-43].

Результати цього дослідження демонструють, що дисперсія та різноманітність колірної температури необхідні для поліпшення виконання завдань і повинні надаватися з урахуванням не тільки фізіологічних реакцій, але й емоційних факторів. Вони також показують, що колірну температуру можна використовувати для створення фізичного середовища, придатного для підвищення ефективності лікування та освіти.

3 ВИБІР КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕННЯМ

3.1 Принцип роботи Arduino і використання його як інструменту для навчання та досліджень

Arduino – це мікроконтролер з відкритим кодом, який можна легко програмувати, видаляти та перепрограмувати в будь-який момент часу. Запроваджена в 2005 році платформа Arduino була розроблена, щоб забезпечити недорогий та простий спосіб для любителів, студентів та професіоналів створювати пристрої, які взаємодіють із навколишнім середовищем за допомогою датчиків та виконавчих механізмів. Заснована на простих платах мікроконтролера, це обчислювальна платформа з відкритим кодом, яка використовується для побудови та програмування електронних пристроїв. Він також може виконувати функції міні-комп'ютера, як і інші мікроконтролери, приймаючи входи та керуючи виходами для різноманітних електронних пристроїв, або отримувати та надсилати інформацію через Інтернет за допомогою різних екранів Arduino. Arduino використовує апаратне забезпечення, відоме як плата розробки Arduino, та програмне забезпечення для розробки коду, відоме як Arduino IDE (інтегроване середовище розробки). Побудовані на основі 8-розрядних мікроконтролерів Atmel AVR, виготовлених Atmel, або 32-розрядної Atmel ARM, ці мікроконтролери можна легко програмувати, використовуючи мову C або C++ в Arduino IDE. На відміну від інших плат мікроконтролера, плати Arduino вийшли на електронний ринок лише трохи більше ніж п'ять років тому і були обмежені лише невеликими проектами. Люди, пов'язані з електронікою, поступово підходили і приймали роль Arduino для власних проектів. Цю плату розробки також можна використовувати для запису нового коду на плату, просто використовуючи USB-кабель для завантаження. Arduino IDE забезпечує спрощену інтегровану платформу, яка може працювати на звичайних персональних комп'ютерах і дозволяє користувачам писати програми для Arduino за допомогою C або C++.

Оскільки на ринку доступно так багато плат Arduino, для вибору конкретної плати для розробки потрібен різноманітний огляд, проведений з урахуванням специфікацій та можливостей, які можуть бути використані для виконання проекту відповідно до зазначених додатків.

Массімо Банзі, співзасновник Arduino, виділив кілька дуже важливих факторів, чому існує необхідність використовувати Arduino і чим він відрізняється від інших [44]:

- спільнота активних користувачів: група людей, що використовують цей продукт, може вести розмову та ділитися своїм досвідом або вирішувати проблеми інших користувачів у спільнотах на власному досвіді;
- зростання Arduino: Arduino був розроблений з метою забезпечити економічний та безпроблемний спосіб для любителів, студентів та професіоналів створювати пристрої, які призначені для їх ситуації за допомогою датчиків та виконавчих механізмів. Це робить ідеальним для початківців швидко розпочати роботу;
- недороге обладнання: Оскільки Arduino – це платформа з відкритим кодом, програмне забезпечення не купується, а є лише витрати на придбання плати або її частин, що робить її дуже дешевою. Апаратні конструкції також доступні в Інтернеті безкоштовно на офіційному веб-сайті;
- плата Arduino як програматор: щоб полегшити функціонування плати Arduino, а також зробити її доступною скрізь, ці плати мають кабель USB для потреб живлення, а також функціонують як програматор;
- багатоплатформене середовище: Arduino IDE може працювати на багатьох платформах, включаючи Microsoft, Linux та Mac OS X, що робить спільноту користувачів ще більшою.

Плати Arduino доступні з багатьма різними типами вбудованих модулів. Такі плати, як Arduino BT, мають вбудований модуль Bluetooth для бездротового зв'язку. Ці вбудовані модулі також можуть бути доступні окремо, які потім можуть бути з'єднані (змонтовані) з ним. Ці модулі відомі

як плати розширення. Деякі з найбільш часто використовуваних плат розширення [45]:

- плата розширення Arduino Ethernet: вона дозволяє платі Arduino підключатися до Інтернету за допомогою бібліотеки Ethernet і читати та записувати на SD-карту за допомогою бібліотеки SD;
- бездротова плата розширення Arduino: дозволяє платі Arduino спілкуватися бездротово за допомогою Zigbee;
- плата розширення драйвера двигуна Arduino: дозволяє платам Arduino взаємодіяти з драйвером двигуна тощо (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Плати розширення Arduino: Ethernet, бездротовий і драйвер двигуна

Далі на таблиці 3.1 приведено список різних типів плат Arduino, разом із типом мікроконтролера, частотою кристалів та можливостями функції автоматичного перезавантаження.

Таблиця 3.1 – Різновиди плат Arduino

| Тип плати Arduino | Мікроконтролер | Тактова частота |
|---------------------|----------------|----------------------|
| Arduino Uno | ATmega328 | 16 МГц з авторезетом |
| Arduino Duemilanove | ATmega328 | 16 МГц з авторезетом |
| Arduino Nano | ATmega328 | 16 МГц з авторезетом |

Продовження таблиці 3.1

| | | |
|--------------------------------|---|-----------------------------|
| Arduino Mega 2560 або Mega ADK | ATmega2560 | 16 МГц з авторезетом |
| Arduino Leonardo | ATmega32u4 | 16 МГц з авторезетом |
| Arduino Mini | ATmega328 | 16 МГц з авторезетом |
| Arduino Ethernet | Еквівалент Arduino UNO з платою розширення Ethernet | |
| Arduino Fio. | ATmega328 | 8 МГц з авторезетом |
| Arduino BT | ATmega328 | 16 МГц з авторезетом |
| LilyPad Arduino | ATmega328 | 8 МГц (3.3 В) з авторезетом |
| Arduino Pro або Pro Mini | ATmega328 | 16 МГц з авторезетом |
| Arduino NG | ATmega8 | 1 МГц з авторезетом |

Елементи плат розширення Arduino можна розділити на дві категорії:

- апаратне забезпечення;
- програмне забезпечення.

Плата для розробки Arduino складається з безлічі компонентів, що разом змушує її працювати (рис. 3.2). Нижче приведені деякі з основних компонентів, які допомагають у його функціонуванні:

- мікроконтролер: це серце плати розробки, яке працює як міні-комп'ютер і може отримувати, а також надсилати інформацію або команди на підключені до неї периферійні пристрої. Використовуваний мікроконтролер відрізняється від плати до плати, він також має свої різні технічні характеристики;

- зовнішнє джерело живлення: це джерело живлення, яке використовується для живлення плати розробки Arduino з регульованою напругою від 9 до 12 вольт;

- USB-штекер: цей штекер є дуже важливим портом на цій платі. Застосовується для завантаження (записування) програми на мікроконтролер за допомогою кабелю USB. Він також має регульовану потужність 5 В, яка

також забезпечує живлення плати Arduino у випадках, коли зовнішнє джерело живлення відсутнє;

- внутрішній програматор: розроблений програмний код можна завантажити на мікроконтролер через порт USB, без зовнішнього програматору;

- кнопка скидання: ця кнопка присутня на платі і може використовуватися для скидання мікроконтролера Arduino;

- аналогові піни: є кілька аналогових вхідних пінів, починаючи від A0 - A7 (типово). Ці піни використовуються для аналогового вводу / виводу. Номери аналогових пінів варіюються від плати до плати;

- цифрові піни вводу-виводу: є кілька пінів цифрового вводу, які також мають діапазон від 2 до 16 (типово). Ці піни використовуються для цифрового вводу / виводу. Номери цих цифрових пінів також варіюються від плати до плати;

- піни живлення та GND: на платі розробки є піни, які забезпечують 3.3, 5 вольт і заземлюються через них.

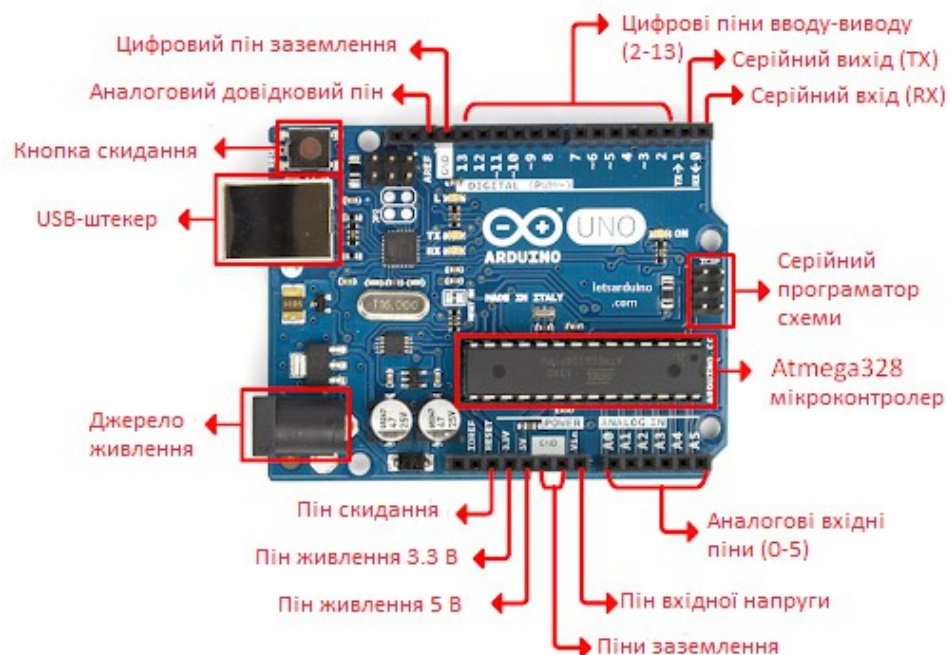


Рисунок 3.2 – Схема плати Arduino з позначеннями

Код програми, написаний для Arduino, відомий як скетч. Програмне забезпечення, що використовується для розробки таких скетчів для Arduino, широко відоме як Arduino IDE. Ця IDE містить у собі такі частини:

- текстовий редактор: тут можна писати спрощений код, використовуючи спрощену версію мови програмування C ++;
- область повідомлень: тут відображаються помилки, а також надається відгук про збереження та експорт коду;
- текст: консоль відображає текст, виведений середовищем Arduino, включаючи повне повідомлення про помилки та іншу інформацію;
- панель інструментів консолі: ця панель інструментів містить різні кнопки, такі як Перевірити, Завантажити, Створити, Відкрити, Зберегти та Послідовний монітор. У нижньому правому куті вікна відображаються Дошка розробки та послідовний порт, що використовується.

Особливості середовища розробки Arduino IDE наступні:

- файл проекту або ескізи проекту зберігаються із розширенням .ino;
- підтримка таких функцій, як вирізання / копіювання / вставка;
- можливість знайти конкретне слово та замінити його іншим, натискаючи кнопки Ctrl + F на клавіатурі;
- найпростіша частина або скелет усього коду Arduino матиме всього дві функції.

Кожен ескіз завжди матиме дві основні частини, це:

- void setup();
- void loop().

Void setup() – це перша процедура, яка починається, коли Arduino починає функціонувати. Ця функція виконується лише один раз протягом усього функціонування програми. Функція налаштування містить ініціалізацію кожного контакту, який буде використовуватися в проекті для вводу або виводу. Приклад функції показано на рисунку 3.3.

```
void setup()
{
  pinMode(pin, INPUT);
  pinMode(pin, OUTPUT);
}
```

Рисунок 3.3 – Приклад функції void setup()

Тут pin є номер піну, який слід визначити. INPUT/OUTPUT відповідають режиму, в якому слід використовувати пін.

Вона також може містити ініціалізацію послідовного монітора (рис. 3.4). Послідовний монітор використовується для отримання даних, які послідовно надсилаються на будь-який периферійний пристрій. Перед використанням будь-яких змінних для програмування необхідно визначити їх над функцією void setup().

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

Рисунок 3.4 – Приклад функції void setup() з ініціалізацією послідовного монітора

Функція void loop() є наступною важливою функцією скетчу. Вона складається з тієї частини коду, яку потрібно постійно виконувати, на відміну від частини коду, записаної у функції налаштування. Приклад циклу приведено на рисунку 3.5.

```
void loop()
{
  digitalWrite(pin, HIGH);
}
```

Рисунок 3.5 – Приклад функції void loop ()

Тут digitalWrite – це функція, яка записує велике або низьке значення на цифровий пін. Якщо пін був налаштований як OUTPUT із Mode() піном, його напруга буде встановлена на відповідне значення: 5 В (або 3.3 В на платах 3.3 В) для HIGH, 0 В (заземлення) для LOW. Подібним чином, якщо існує потреба у затримці в скетчі, то існує інша функція, яка створює затримку у виконанні коду.

Функція на рисунку 3.6 створює затримку у виконанні програми протягом зазначеного періоду часу (у мілісекундах). Використання наведених вище двох функцій дозволяє створити ескіз для блимання світлодіода.

```
delay(1000); //delay for a second
```

Рисунок 3.6 – Приклад функції із створенням затримки

3.2 Мікроконтролер Arduino Nano

Arduino Nano – це один із типів мікроконтролерних плат, який розроблений Arduino.cc. Він може бути побудований за допомогою мікроконтролера, такого як Atmega328. Цей мікроконтролер також

використовується в Arduino UNO. Ця плата має невеликий розмір, а також гнучка для різноманітного застосування [46].

Ця плата має безліч функцій, як плата Arduino Duemilanove. Однак Nano відрізняється компактністю. Вона не має жодного гнізда постійного струму, тому джерело живлення можна подавати за допомогою невеликого порту USB, або прямо підключившись до контактів, таких як VCC і GND. Ця плата може постачатися від 6 до 20 вольт за допомогою міні-порту USB.

3.2.1 Особливості Arduino Nano

Особливості Arduino Nano(рис. 3.7) в основному включають наступні:

- мікроконтролер ATmega328P з 8-розрядного сімейства AVR;
- робоча напруга 5В;
- вхідна напруга (V_{in}) – від 7 В до 12 В;
- кількість вхідних/вихідних пінів – 22;
- аналогових пінів вводу/виводу шість – від A0 до A5;
- цифрові піни – 14;
- споживана потужність – 19 мА;
- постійний струм пінів вводу/виводу – 40 мА;
- флеш-пам'ять – 32 КБ;
- SRAM – 2 КБ;
- EEPROM - 1 Кб;
- швидкість CLK – 16 МГц;
- вага – 7г;
- розмір друкованої плати – 18 на 45 мм;
- підтримує три комунікації, такі як SPI, IIC та USART.

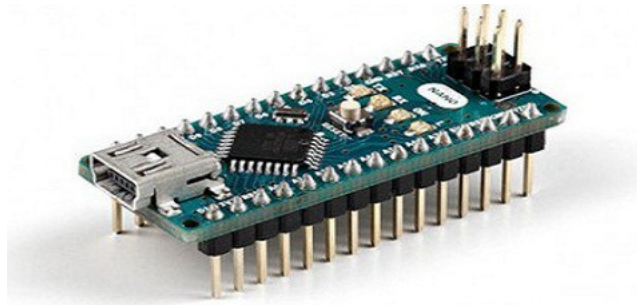


Рисунок 3.7 – Плата Arduino Nano

Конфігурація пінів Arduino Nano наведена на рисунку 3.8, а опис кожної функціональності наступний:

- Vin – вхідна напруга плати, і вона використовується, коли зовнішнє джерело живлення використовується від 7 В до 12 В;
- 5 В: регульована напруга живлення Arduino Nano, яка використовується для подачі живлення на плату, а також на компоненти;
- 3,3 В: мінімальна напруга, яка генерується від регулятора напруги на платі;
- GND: пін заземлення плати;
- RST пін (Reset): цей пін використовується для скидання мікроконтролера;
- аналогові піни (A0-A7): ці піни використовуються для розрахунку аналогової напруги плати в діапазоні від 0 В до 5 В;
- піни вводу/виводу (цифрові піни від D0-D13): ці піни використовуються як і/р 0В, так і о/р 5В;
- серійні піни (Tx, Rx): ці піни використовуються для передачі та прийому послідовних даних TTL;

- зовнішні переривання (2, 3): ці піни використовуються для активації переривання;
- ШІМ (3, 5, 6, 9, 11): ці піни використовуються для забезпечення 8-бітового виходу ШІМ;
- SPI (10, 11, 12 та 13): ці піни використовуються для підтримки зв'язку SPI;
- вбудований світлодіод (13): цей пін використовується для активації світлодіода;
- ІС (A4, A5): ці піни використовуються для підтримки зв'язку TWI;
- AREF: цей пін використовується для подання опорної напруги на вхідну напругу.

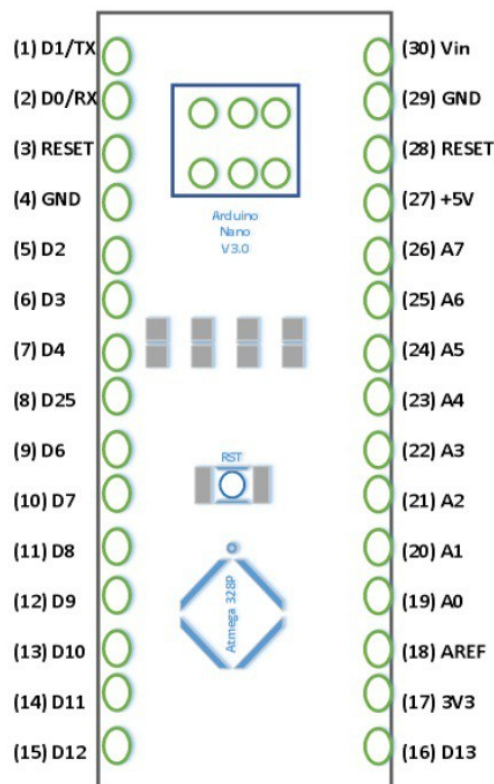


Рисунок 3.8 – Конфігурація пінів Arduino Nano

3.2.2 Різниця між Arduino Uno та Arduino Nano

Плата Arduino Nano схожа на плату Arduino Uno, включаючи подібний мікроконтролер Atmega328p. Таким чином, вони можуть поділитися подібною програмою. Основна різниця між цими двома – це розмір, оскільки розмір Arduino Uno вдвічі більший за Nano, тож плати Uno використовують більше місця в системі. Програмування Uno можна виконати за допомогою кабелю USB, тоді як Nano використовує кабель mini USB. Основні відмінності між цими двома перелічені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняльна характеристика Arduino Uno та Arduino Nano

| Характеристика | Arduino Uno | Arduino Nano |
|------------------------|-------------|--------------|
| Процесор | Atmega328p | Atmega328p |
| Вхідна напруга | 5 В/7-12 В | 5 В/7-12 В |
| Швидкість процесору | 16 МГц | 16 МГц |
| Аналогові вводи/виводи | 6/0 | 8/0 |

Продовження таблиці 3.2

| | | |
|--------------------------|-----------|------|
| Цифрові ШІМ вводу/виводу | 14/6 | 14/6 |
| EEPROM/SRAM (kB) | 1/2 | 1/2 |
| Флеш-пам'ять | 32 | 32 |
| USB | Звичайний | Міні |
| USART | 1 | 1 |

3.2.3 Комунікації Arduino Nano

Зв'язок плати Arduino Nano може здійснюватися за допомогою різних джерел, наприклад, за допомогою додаткової плати Arduino, комп'ютера, або за допомогою мікроконтролерів. Мікроконтролер, що використовується на платі Nano (ATmega328), пропонує послідовний зв'язок (UART TTL). Це можна отримати на цифрових пінах, таких як TX та RX. Програмне забезпечення Arduino складається з серійного монітора, що дозволяє легко передавати та приймати текстову інформацію від плати.

Світлодіоди TX та RX на платі Nano будуть блимати, коли інформація надсилатиметься через FTDI та USB до комп'ютера. Бібліотечний SoftwareSerial дозволяє здійснювати послідовний зв'язок на будь-якому з цифрових контактів на платі. Мікроконтролер також підтримує зв'язок SPI та I2C (TWI).

3.2.4 Програмування Arduino Nano

Програмування Arduino Nano можна виконати за допомогою програмного забезпечення Arduino, клацнувши опцію Інструменти та вибравши плату Nano. Мікроконтролер ATmega328 на платі Nano постачається із запрограмованим завантажувачем. Цей завантажувач дозволяє завантажувати новий код без використання зовнішнього програмного забезпечення. Це може бути здійснено за допомогою протоколу STK500. Також можна уникнути завантажувача, а програму мікроконтролера можна виконати за допомогою заголовка серійного програмування або ICSP з провайдером Arduino.

1 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИСТРОЮ

Для того, щоб реалізувати даний пристрій, спочатку потрібно було придбати наступні компоненти:

- плата Arduino Nano;
- LED RGBW лампа (рис. 4.1);
- Bluetooth-модуль HC-05;
- ІЧ світлодіод;
- дроти типу «мама-мама»;
- макетна плата.



Рисунок 4.1 – LED RGBW лампа

Розробка проходила в декілька етапів, які будуть описані нижче.

4.1 Перевірка плати на працездатність

Насамперед плата була перевірена на працездатність. Для цього був встановлений драйвер для мікросхеми CH340, яка часто використовується в платах Arduino з вбудованим USB-to-Serial перетворювачем. Ця мікросхема дозволяє зменшити витрати на виробництво плат, не впливаючи на її працездатність. Також було встановлене вибране середовище розробки, а саме – Arduino IDE, підключена плата до ПК і проведене налаштування середовища під Arduino Nano.

В якості тестової програми (ліст. 4.1), яка перевіряє роботу плати, було використано миготіння вбудованим на платі світлодіодом L.

Лістинг 4.1 – Код миготіння світлодіодом L

```
// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup () {
    // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
    pinMode (LED_BUILTIN, OUTPUT);
}
// the loop function runs over and over again forever
void loop () {
    digitalWrite (LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
    delay (1000); // wait for a second
    digitalWrite (LED_BUILTIN, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
    delay (1000); // wait for a second
}
```

4.2 Пайка контактів та підключення Bluetooth модулю

Наступним кроком для можливості підключення компонентів до плати була проведена пайка контактів. У спаяному стані плата виглядає, як показано на рисунку 4.2.

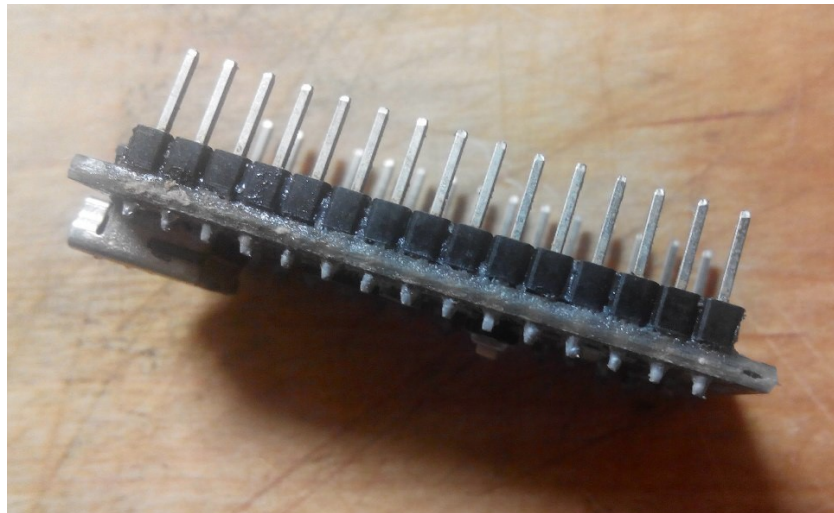


Рисунок 4.2 – Плата з припаяними контактами

Далі до плати був підключений Bluetooth-модуль. Для зв'язку плати Arduino і комп'ютера використовується інтерфейс UART (Serial). Так як будь-яка плата Arduino має хоча б один послідовний порт UART, для підключення

Bluetooth модуля не потрібні спеціалізовані бібліотеки і схеми. Підключення було проведено за схемою, наданою на рисунку 4.3.

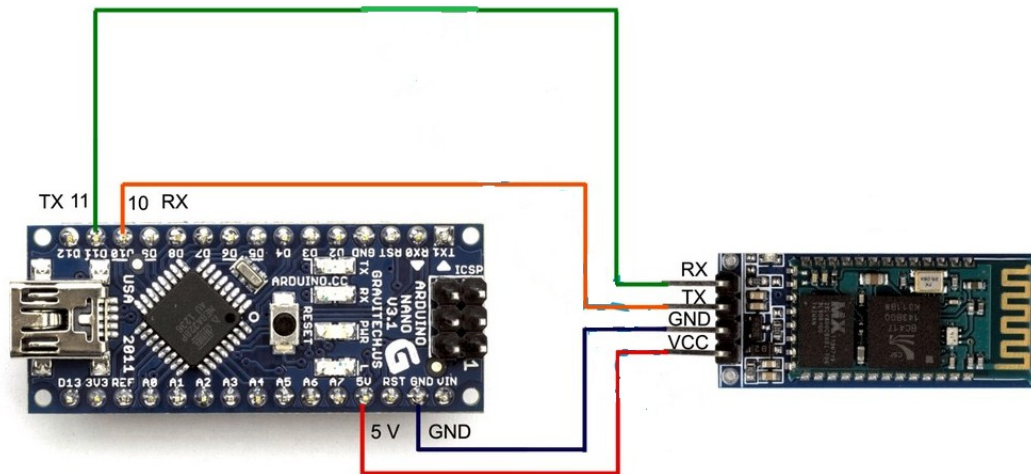


Рисунок 4.3 – Схема підключення Bluetooth-модуля до Arduino

В результаті вийшло так, як показано на рисунку 4.4.

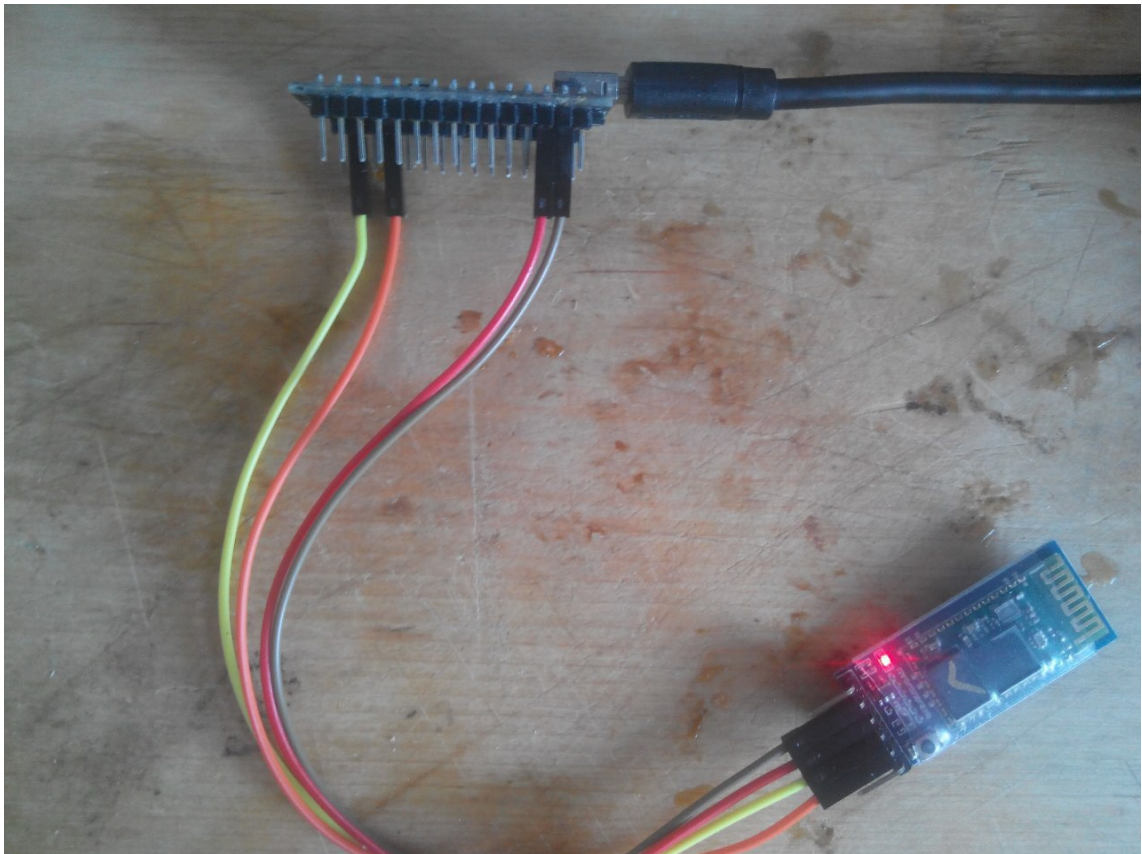


Рисунок 4.4 – Підключений модуль до плати

Моргання світлодіодом червоного кольору на Bluetooth-модулі сигналізує про те, що модуль підключений, але з'єднання не встановлено.

4.3 Перевірка Bluetooth модулю

Далі була перевірена передача даних між комп'ютером і смартфоном за допомогою Bluetooth-модуля. Для цього була встановлена бібліотека SoftwareSerial і написана невелика програма.

Швидкість Serial-порту, який використовується для прошивки Arduino і через який відбувається зв'язок з Arduino з комп'ютера, становить 57600. Підключення проводиться за допомогою програми монітор COM-порту в Arduino IDE. Символьна швидкість для програмного COM-порту, до якого був підключений Bluetooth-модуль, складає 9600. При підключенні до Serial-порту і програмного COM-порту виводиться різний текст. У параметрах вказується, що для програмного COM-порту 10 вихід використовується як вхід RX, а 11 – як вихід передачі TX, тим самим підключаючи до 10 і 11 виводів Bluetooth-модуль, не задіюються виводи 0 і 1 Arduino, які можна використовувати як Serial . Для цього і була використана бібліотека SoftwareSerial, за допомогою якої був створений серійний порт на виходах 10 і 11.

В основному циклі програми відбувається наступне: якщо дані приходять з програмного порту, то вони видаються в існуючий COM-порт, тобто в монітор послідовного порту, і навпаки (лістинг 4.2).

Лістинг 4.2 – Код передачі даних між комп'ютером і смартфоном

```
#include <SoftwareSerial.h>
```

```
SoftwareSerial mySerial (10, 11); // RX, TX
```

```
void setup () {
```

```
    // Open serial communications and wait for port to open:
```

```
Serial.begin (57600);
while (! Serial) {
    ; // wait for serial port to connect. Needed for Leonardo only
}
Serial.println ( "Goodnight moon!");

// set the data rate for the SoftwareSerial port
mySerial.begin (9600);
mySerial.println ( "Hello, world?");
}

void loop () {
    if (mySerial.available ())
        Serial.write (mySerial.read ());
    if (Serial.available ())
        mySerial.write (Serial.read ());
}
```

Результат роботи даної програми показаний на рисунках 4.5 та 4.6.

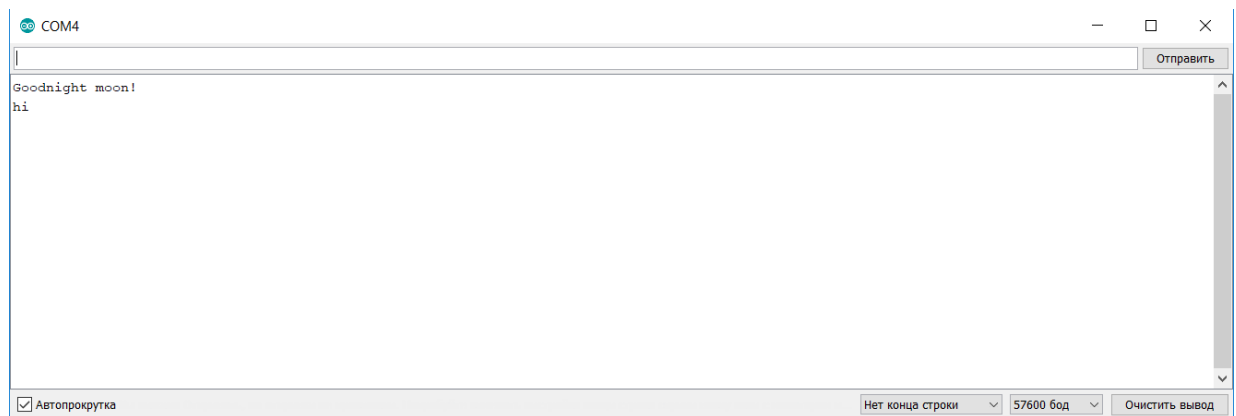


Рисунок 4.5 – Результат роботи програми в моніторі COM-порту



Рисунок 4.6 – Результат роботи програми в додатку BlueTerm на смартфоні

4.4 Написання Android-додатку на смартфон

Перевіривши Bluetooth-модуль на працездатність, наступним кроком було написання Android-додатку на смартфон для дистанційного керування «розумної лампою». Додаток був створений за допомогою безкоштовного інтернет-ресурсу MIT App Inventor. Компонентами додатку є 23 кнопки і BluetoothClient, які будуть відображатися на екрані смартфона під час запуску програми, як показано на рисунку 4.7.

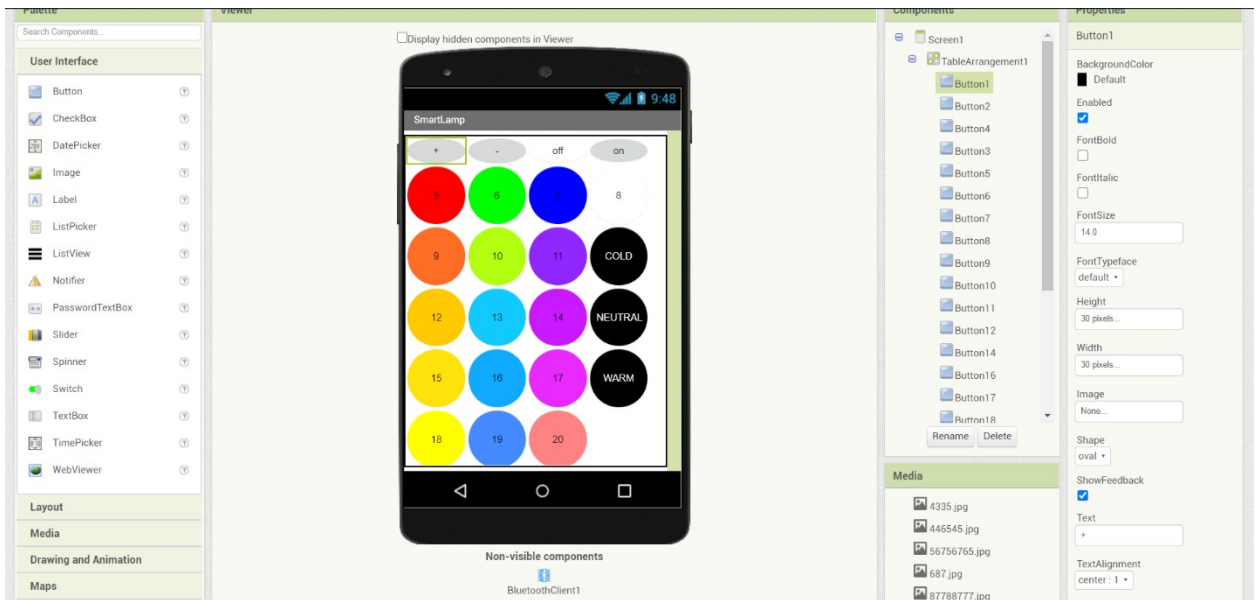


Рисунок 4.7 – Екран додатку в MIT App Inventor, що розробляється

Далі за допомогою режиму «Блоки» було запрограмовано поведінку додатка, тобто яким чином обрані компоненти будуть реагувати на різні дії користувача. У блочному вигляді програма має вигляд, як показано на рисунку 4.8.

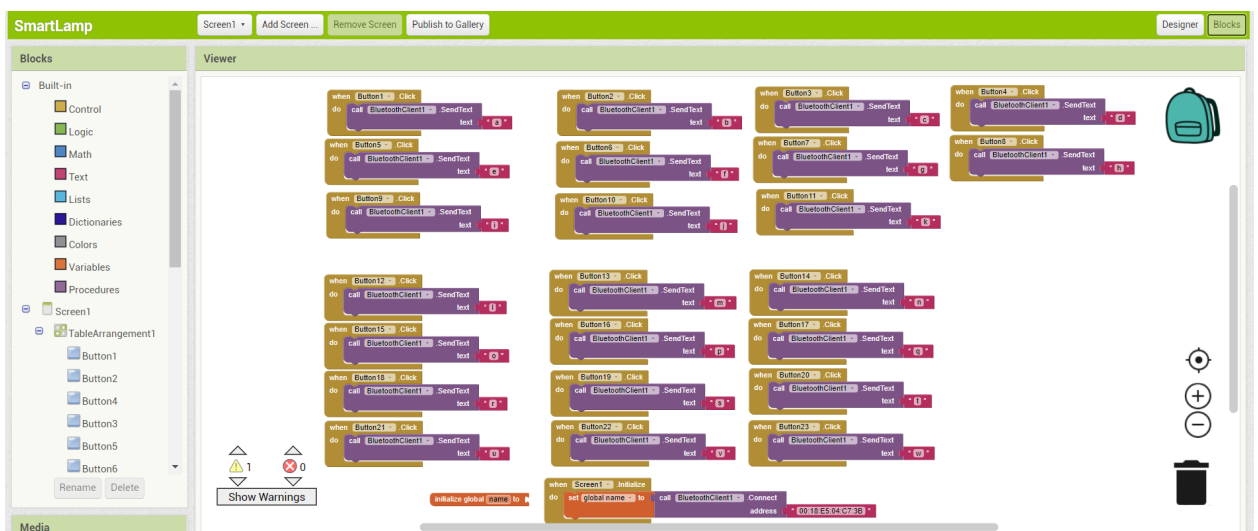


Рисунок 4.8 – Блоки додатку в MIT App Inventor, що розробляються

Кожен з 23-ох блоків обробляє натискання відповідної йому кнопки, які були створені в режимі «Дизайнер», і викликом `BluetoothClient` відправляється текстовий символ від "a" до "x". Останній, 24-ий блок при ініціалізації екрана викликом `BluetoothClient` виконується з'єднання за вказаною адресою, в нашому випадку – 00:18:E5:04:C7:3B, який став відомий з програми `BlueTerm` (рис. 4.9).

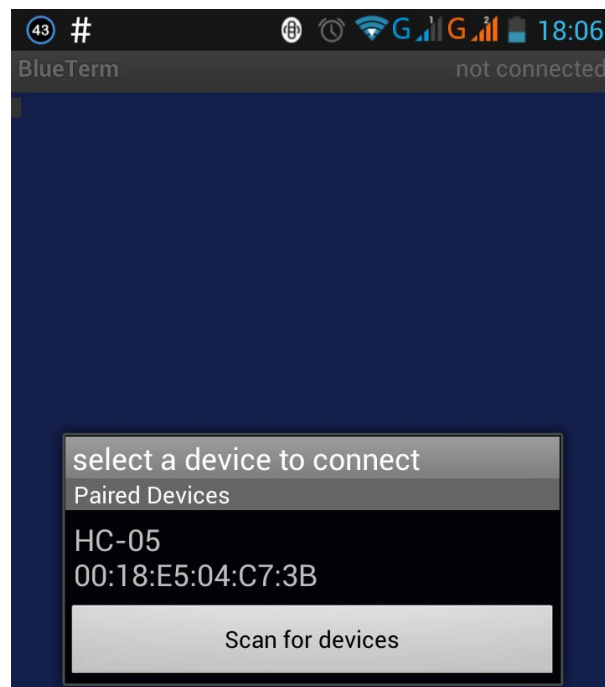


Рисунок 4.9 – Адреса, за якою виконується з'єднання в додатку `BlueTerm`

4.5 Підключення світлодіоду та дізнання кодів пульта ДУ

Спочатку було встановлено бібліотеку `IRremote`. Ознайомившись з вихідним кодом бібліотеки, з файлу `boarddefs.h` стало зрозуміло, що інфрачервоний світлодіод, що передає сигнал, повинен бути підключений до третього піну плати (рис. 4.10).

```

#else
// Arduino Duemilanove, Diecimila, LilyPad, Mini, Fio, Nano, etc
// ATmega48, ATmega88, ATmega168, ATmega328
// #define IR_USE_TIMER1 // tx = pin 9
#define IR_USE_TIMER2 // tx = pin 3

```

Рисунок 4.10 – Фрагмент лістингу файлу boarddefs.h

Отже, світлодіод був підключений, як показано на рисунку 4.11: катод (негативний вивод світлодіода) до землі, а анод (позитивний вивод, довша нога) – до піну номер 3.

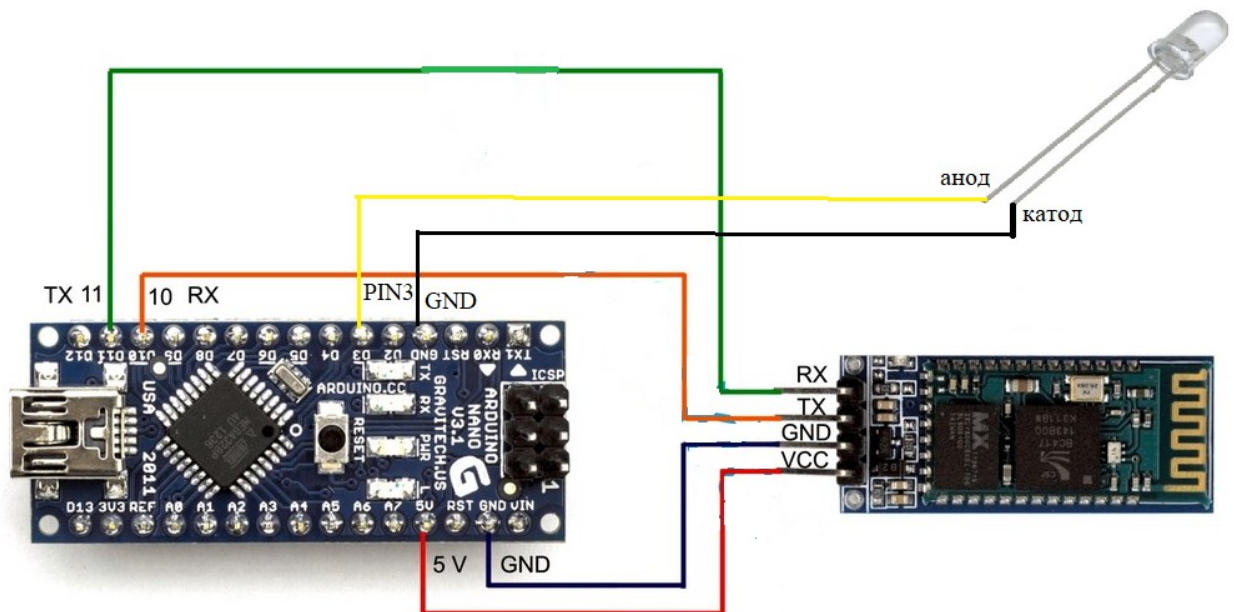


Рисунок 4.11 – Схема підключення світлодіода до плати

В результаті вийшло так, як показано на рисунку 4.12.

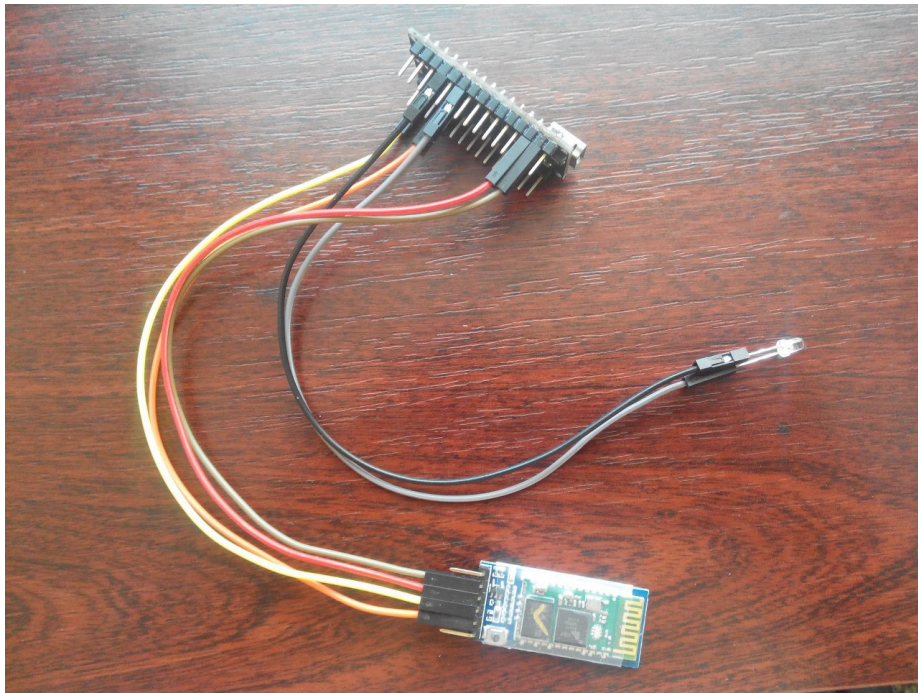


Рисунок 4.12 – Вид реалізації з усіма підключеними компонентами

Потім, для написання скетчу необхідно було дізнатися коди кнопок пульта ДУ. Так як пульт досить поширений, вони були знайдені у вільному доступі в інтернеті, в іншому випадку довелось б зчитувати їх самостійно за допомогою ІЧ-приймача з підключенням, як показано на рисунку 4.13.

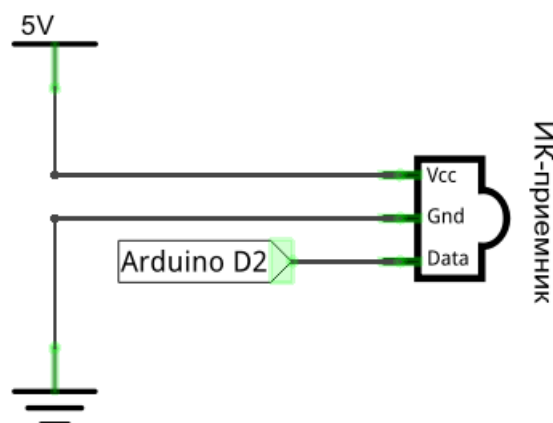


Рисунок 4.13 – Схема підключення ІЧ-приймача до плати

Програма виглядала б як показано на рисунку 4.14.

```
#include "IRremote.h"

IRrecv irrecv(2); // указываем вывод, к которому подключен приемник

decode_results results;

void setup() {
  Serial.begin(9600); // выставаем скорость COM порта
  irrecv.enableIRIn(); // запускаем прием
}

void loop() {
  if ( irrecv.decode( &results )) { // если данные пришли
    Serial.println( results.value, HEX ); // печатаем данные
    irrecv.resume(); // принимаем следующую команду
  }
}
```

Рисунок 4.14 – Програма для зчитування кодів кнопок пульта

За допомогою бібліотеки IRremote, яка призначена саме для спрощення роботи з прийомом і передачею ІЧ сигналів приймаються команди з пульта і просто виводяться у вікно монітора послідовного порту.

4.6 Написання програми для мікроконтролера

Наступним, і останнім, кроком стало написання скетчу для Arduino (ліст. 4.3).

Лістинг 4.3 – Скетч для Arduino

```
#include <IRremote.h>
```

```

IRsend irsend;

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

void loop() {
  if (Serial.available() > 0) {
    int a = Serial.read();

    if(a == 'a') {irsend.sendNEC(0xFFB97F, 32); delay(40);} //яскравість+
    if(a == 'b') {irsend.sendNEC(0xFF11CF, 32); delay(40);} //яскравість-
    if(a == 'c') {irsend.sendNEC(0xFF718F, 32); delay(40);} //ВИМК
    if(a == 'd') {irsend.sendNEC(0xFFD92F, 32); delay(40);} //ВВІМК

    if(a == 'e') {irsend.sendNEC(0xFF817F, 32); delay(40);} //червоний
    if(a == 'f') {irsend.sendNEC(0xFF09DF, 32); delay(40);} //зелений
    if(a == 'g') {irsend.sendNEC(0xFF61BF, 32); delay(40);} //синій
    if(a == 'h') {irsend.sendNEC(0xFFE91F, 32); delay(40);} //білий

    if(a == 'i') {irsend.sendNEC(0xFFA64F, 32); delay(40);}
    if(a == 'j') {irsend.sendNEC(0xFF36DF, 32); delay(40);}
    if(a == 'k') {irsend.sendNEC(0xFF732F, 32); delay(40);}
    if(a == 'l') {irsend.sendNEC(0xFFE37F, 32); delay(40);}

    if(a == 'm') {irsend.sendNEC(0xFFB847, 32); delay(40);}
    if(a == 'n') {irsend.sendNEC(0xFF29E7, 32); delay(40);}
  }
}

```

```

if(a == 'o') {irsend.sendNEC(0xFF8257, 32); delay(40);}

if(a == 'p') {irsend.sendNEC(0xFFC377, 32); delay(40);}

if(a == 'q') {irsend.sendNEC(0xFF3477, 32); delay(40);}

if(a == 'r') {irsend.sendNEC(0xFF47A7, 32); delay(40);}

if(a == 's') {irsend.sendNEC(0xFF93B7, 32); delay(40);}

if(a == 't') {irsend.sendNEC(0xFFD347, 32); delay(40);}

if(a == 'u') {irsend.sendNEC(0xFF3577, 32); delay(40);} //холодний колір

if(a == 'v') {irsend.sendNEC(0xFF34D7, 32); delay(40);} //нейтральний колір

if(a == 'w') {irsend.sendNEC(0xFF64A7, 32); delay(40);} //теплий колір

}

}

```

Спочатку створюється передаючий об'єкт з ім'ям `irsend`. Змінній `a` присвоюється значення чергового доступного байта з буфера послідовного з'єднання. Далі умовним оператором `if` перевіряється відповідність даного значення кожній букви англійського алфавіту від `a` до `w`, які раніше були прописані для кожної кнопки додатка на смартфон і відправлялися викликом `BluetoothClient`. У тілі оператора об'єкт `irsend` відправляє код в NEC форматі, який раніше був зчитан з пульта ДУ.

І в кінцевому підсумку, ІЧ-приймач, вбудований в RGBW лампу, приймає цей код і відповідним чином змінює поведінку лампи.

ВИСНОВКИ

Розумне освітлення – це вдосконалений спосіб освітлення. Розумні світлодіодні лампочки містять програмне забезпечення, яке підключається до програми, розумного домашнього помічника або іншого розумного аксесуара, завдяки чому є можливість автоматизувати освітлення або дистанційно керувати ними, усуваючи необхідність у традиційних настінних вимикачах.

Розумне освітлення дає набагато більше контролю над світлом, ніж традиційні лампи. Вони підключені до електромережі, але кожна розумна лампочка або вбудований світлодіодний світильник дозволяють керувати ними бездротово за допомогою телефону, планшета або розумного помічника, наприклад Google Assistant або Amazon Alexa.

В ході виконання атестаційної роботи було розкрито поняття колірної температури з візуальним поясненням на діаграмах та графіках, проаналізовані проведені дослідження щодо впливу колірної температури на короткочасну пам'ять та продуктивність учнів, розглянута система управління освітленням на базі Arduino, проаналізовані існуючі системи управління освітленням та показана можливість використання Arduino для впровадження системи управління освітленням.

Пристрій керування кольором освітлення на базі Arduino працює шляхом передачі сигналу зі смартфона на плату за допомогою Bluetooth модуля та подальшим переданням коду на ІЧ приймач розумної лампи через ІЧ світлодіод.

Таким чином користувач може змінювати колір освітлення, яскравість та, що найважливіше, колірну температуру за допомогою свого мобільного пристрою, знаходячись на відстані, достатньому для передачі даних по Bluetooth та володіє можливістю додання цієї системи до більшої інтелектуальної системи.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Color temperature [Електронний ресурс] / Optical Microscopy Primer Photomicrography. – Режим доступу: <https://micro.magnet.fsu.edu/primer/photomicrography/>. – Дата доступу: 15.10.2020 р. – Загол. з екрану.
2. Color temperature [Електронний ресурс] / HyperPhysics. – Режим доступу: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hph.html>. – Дата доступу: 24.11.2020 р. – Загол. з екрану.
3. Lee C. W. The influence of LED lighting on attention and long-term memory / C. W. Lee, J. H. Kim // International Journal of Optics. – 2020. – P. 1-6.

4. Chellappa S. L. Can light make us bright effects of light on cognition and sleep / S. L. Chellappa, M. C. M. Gordijn, C. Cajochen // *Progress in Brain Research*. – 2011. – vol. 190. – P. 119-133.
5. Huiberts L. M. Shining light on memory: effects of bright light on working memory performance / L. M. Huiberts, K. C. H. J. Smolders, Y. A. W. de Kort // *Behavioural Brain Research*. – 2015. – vol. 294. – P. 234-245.
6. Badia P. Bright light effects on body temperature, alertness, EEG and behavior / P. Badia, B. Myers, M. Boecker, J. Culpepper // *Physiology & Behavior*. – 1991. – vol. 50, – P. 582-588.
7. Jung H.-C. The effect of the illuminance of light emitting diode (LED) lamps on long-term memory / H.-C. Jung, J.-H. Kim, and C.-W. Lee // *Displays* . – 2017. – vol. 49, – P. 1-5.
8. Smolders K. C. Bright light and mental fatigue: effects on alertness, vitality, performance and physiological arousal /C. H. J. Smolders, Y. A. W. de Kort // *Journal of Environmental Psychology*. – 2014. – vol. 39. – P. 77-91.
9. Smolders K. C. A higher illuminance induces alertness even during office hours: findings on subjective measures, task performance and heart rate measures / K. C. H. J. Smolders, Y. A. W. de Kort, and P. J. M. Cluitmans // *Physiology & Behavior*. – 2012. – vol. 107, no. 1. – P. 7-16.
10. Ruger M. Time-of-day-dependent effects of bright light exposure on human psychophysiology: comparison of daytime and nighttime exposure / M. Ruger, M. C. M. Gordijn, D. G. M. Beersma, B. de Vries, S. Daan // *American Journal of Physiology*. – 2006. – vol. 290, no. 5. – P. 1413-1420.
11. Knez I. Effects of colour of light on nonvisual psychological processes / I. Knez // *Journal of Environmental Psychology*. – 2001. – vol. 21, no. 2. –P. 201-208.
12. Zhu Y. Effects of illuminance and correlated color temperature on daytime cognitive performance, subjective mood, and alertness in healthy adults / Y. Zhu, M. Yang, Y. Yao // *Environment and Behavior*. – 2019. – vol. 51, no. 2. – P. 199-230.

13. Knez I. Effects of office lighting on mood and cognitive performance and a gender effect in work-related judgment / I. Knez, I. Enmarker // *Environment and Behavior*, – 1998. – vol. 30, no. 4. – P. 553-567.
14. Hawes B. K. Effects of four workplace lighting technologies on perception, cognition and affective state / B. K. Hawes, T. T. Brunye, C. R. Mahoney, J. M. Sullivan, C. D. Aall // *International Journal of Industrial Ergonomics*. – 2012. – vol. 42, no. 1. –P. 122-128.
15. Ru T. Non-image forming effects of illuminance and correlated color temperature of office light on alertness, mood, and performance across cognitive domains / T. Ru, Y. A. W. de Kort, K. C. H. J. Smolders, Q. Chen, G. Zhou // *Building and Environment*. – 2019. – vol. 149. – P. 253-263.
16. Kirchner W. K. Age differences in short-term retention of rapidly changing information / W. K. Kirchner // *Journal of Experimental Psychology*. – 1958. – vol. 55, no. 4. – 352-358.
17. Boray P. Effects of warm white, cool white and full spectrum fluorescent lighting on simple cognitive performance, mood and rations of others / P. Boray, R. Gifford, L. Rosenblood//*Environ Psychol*. –1989. – #9. – P. 297-307.
18. Culp B. Management of the physical environment in the classroom and gymnasium: it's not that different / B. Culp // *Teach Elementary Phys Educ*. – 2006. – № 17.– P. 13-15.
19. Flutter J. This place could help you learn: student participation in creating better school environment / J. Flutter // *Educ Rev*. – 2006. –№58. – P.183-193.
20. Legg S. Ergonomics in schools / S. Legg // *Ergonomics*. – 2007. – № 50. – P. 1523-1529.
21. Linton S.J. The effects of ergonomically designed school furniture on pupils' attitudes, symptoms and behavior / S.J. Linton, A.L. Hellsing, T. Halme // *Appl Ergon*. –1994. – № 25. – P. 299-304.
22. McGee T. The right fit / T. McGee //*Am Sch Univ*. – 2008. – № 80. – P. 26-30.

23. Smith T.J. The ergonomics of learning: educational design and learning performance/ T.J. Smith // *Ergonomics*. – 2007, 50. – P. 1530-1546.

24. Tanner CK: Explaining relationships among students outcomes and the schools physical environment. *J Adv Academics*. – 2008. – № 19. – P. 444–471.

25. Grocoff P: Effects of correlated color temperature on perceived visual comfort. PhD dissertation, The University of Michigan. – 1996.

26. Kim MK, Hyu HW: The potentiality of color preference analysis by EEG. *Korean J Sci Emotion Sensibility*. – 2011. – № 14. – P. 311–320.

27. Mahnke F, Mahnke R: *Color, environment and human response*. New York: John Wiley, 1996.

28. Jeong K, Lee C, Sung WS, et al. : Effects of correlated color temperature of LED light sources and illumination on visual performance at near. *The Korean J of Vision Science*. –2012. – № 14. – P. 189–195.

29. Lee E, Suk H: The emotional response to lighting hue focusing on relaxation and attention. *J of Korean Society of Design Science*. – 2012. – № 25. – P. 27-39.

30. Jo J. Analysis of EEG characteristics for the effectiveness verification of meditation music / J. Jo // *Korea Inst Electron Commun Sci*. – 2014. – № 9. – P. 1139-1144.

31. Jo J. EEG brainwave analysis for research on meditation influence to the concentration / J. Jo // *Korea Inst Electron Commun Sci*. – 2014. – № 9. – P. 1421-1426.

32. Shim J.M. Manual lymph drainage attenuates frontal EEG asymmetry in subjects with psychological stress: a preliminary study / J.M. Shim, S.J. Kim// *Phys Ther Sci*. – 2014. – № 26. – P. 529-531.

33. Ha M.S. On the interaction between electroencephalogram bands of normal elderly women and demented elderly women / M.S. Ha, D.W. Han // *Phys Ther Sci*. – 2011. – № 23. – P. 233-235.

34. Han D.W. Development of a brain index for dementia diagnosis using quantitative EEG analysis/ D.W. Han // *Phys Ther Sci.* – 2013. – № 25. P. 497-500.

35. Noguchi H. Effect of illuminance and color temperature on lowering of physiological activity. *Applied Human Science* / H. Noguchi // *Physiol Anthropol.* – 1999. – № 18. – P. 117-123.

36. Jin J.S. Effects of puzzle game types on the students' thinking ability and commitment according to the stages of their cognitive development / J.S. Jin // Graduate School of Education Korea National University of Education Chung-Buk, Korea.– 2008.

37. Chang T.W. Supporting Design Learning with Design Puzzles / T.W. Chang // *Recent Advances in Design.*

38. Michalewicz Z. Pezzle-based learning / Z. Michalewicz, M. Michalewicz // *AaeE.* – 2007.

39. Alivisatos B. Functional activation of the human brain during mental rotation / B. Alivisatos, M. Petrides // *Neuropsychologia.* – 1997. – № 35. – P. 111-118.

40. Cohen M.S. Changes in cortical activity during mental rotation / M.S. Cohen, S.M. Kosslyn, H.C. Breiter // *A mapping study using functional MRI. Brain.* –1996. – № 119. – P. 89-100.

41. Kim J.Y. A study on interior wall color based on measurement of emotional responses / J.Y. Kim, H.S. Lee // *Korean J Sci Emotion Sensibility.* – 2009. – № 12. – P. 205-221.

42. Chong W.S. A study on human response to color light stimulation / W.S. Chong, C.U. Hong, N.G. Kim // *Korean J Sci Emotion Sensibility.* – 2004. – № 7. – P. 51-56.

43. Kobayashi H. Physiological responses to illuminance and color temperature of lighting/ H. Kobayashi, M. Sato // *Ann Physiol Anthropol.* – 1992. – № 11. – P. 45-49.