

ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ  
ВІДДІЛЕННЯ "ІНЖЕНЕРНА ІНФРАСТРУКТУРА ТА КОМП'ЮТЕРНІ  
НАУКИ"  
КАФЕДРА "ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА  
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА"

До захисту допущено  
завідувач кафедру  
**І. В. Нездвєцька**  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 року

## **Пояснювальна записка**

до бакалаврської роботи  
освітнього ступеня “бакалавр”  
спеціальність 141 “ Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”  
на тему: “ Удосконалення системи автоматичного керування освітленням та  
мікрокліматом побутового приміщення ”

Виконав: студент IV курсу, групи БЕ-41  
спеціальності  
141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”  
\_\_\_\_\_ Валерій ГЛІБКО  
Керівник роботи \_\_\_\_\_ Ганна ХАРЧЕНКО  
Консультант роботи \_\_\_\_\_ к.т.н. Інна НЕЗДВЕЦЬКА  
Рецензент \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

м. Житомир – 2025 року

**ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ**

Відділення "Інженерна інфраструктура та комп'ютерні науки"  
Кафедра "Електроенергетика, електротехніка  
та електромеханіка"  
галузь знань 14 "Електрична інженерія"  
спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"  
освітній ступінь: бакалавр

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**завідувач кафедри**

**І. В. Нездвєцька**  
" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2025 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

**Глібка Валерія Геннадійовича**

1. Тема дипломної роботи: " Удосконалення системи автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення ", керівник роботи Харченко Ганна Сергіївна, консультант по роботі к.т.н. Нездвєцька Інна Володимирівна затверджені наказом навчального закладу від " 24" березня 2025 року № 82-н.
2. Строк подання студентом проекту "5" червня 2025 року
3. Вихідні дані до роботи: керування освітленістю в межах 20 – 100 %, керування колірною температурою освітлення в межах 1500 – 9000 К, підтримання температури повітря в приміщенні в межах 15 – 35 °С, підтримання вологості повітря в приміщенні в межах 30 – 80 %.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
  - Вступ.
  - 1. Огляд наукових і технічних джерел за тематикою роботи
  - 2. Дослідження сучасних технологічних рішень
  - 3. Розробка та розрахунок системи
  - 4. Розробка алгоритму та програмного забезпечення
  - 5. Економічна частина
  - 6. Охорона праці
  - Висновок
5. Перелік візуального та графічного матеріалу:

1. Схема електрична структурна. Контролер освітлення та мікроклімату побутового приміщення.
2. Схема електрична принципова. Контролер освітлення та мікроклімату побутового приміщення.

#### 6. Консультанти розділів проекту

| Розділ                      | Прізвище, ініціали та посада консультанта      | Підпис, дата      |                  |
|-----------------------------|------------------------------------------------|-------------------|------------------|
|                             |                                                | завдання видав    | завдання прийняв |
| Вступ                       | Харченко Г.С. – викладач спеціальних дисциплін | 24 березня 2025р. |                  |
| Розділ 1                    | Харченко Г.С. – викладач спеціальних дисциплін | 24 березня 2025р. |                  |
| Розділ 2                    | Харченко Г.С. – викладач спеціальних дисциплін | 24 березня 2025р. |                  |
| Розділ 3                    | Харченко Г.С. – викладач спеціальних дисциплін | 24 березня 2025р. |                  |
| Розділ 4                    | Харченко Г.С. – викладач спеціальних дисциплін | 24 березня 2025р. |                  |
| Розділ 5                    | Харченко Г.С. – викладач спеціальних дисциплін | 24 березня 2025р. |                  |
| Розділ 6                    | Харченко Г.С. – викладач спеціальних дисциплін | 24 березня 2025р. |                  |
| Висновки                    | Харченко Г.С. – викладач спеціальних дисциплін | 24 березня 2025р. |                  |
| ГЧ та технічна документація | Харченко Г.С. – викладач спеціальних дисциплін | 24 березня 2025р. |                  |

#### 7. Дата видачі завдання “24” березня 2025 року.

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту           | Строк виконання етапів проекту | Примітка |
|-------|-------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1.    | Вступ.                                    | 05.12.2024р.                   |          |
| 2.    | Розділ 1.                                 | 12.12.2024р.                   |          |
| 3.    | Розділ 2.                                 | 23.12.2024р.                   |          |
| 4.    | Розділ 3.                                 | 23.01.2025р.                   |          |
| 5.    | Розділ 4.                                 | 20.02.2025р.                   |          |
| 6.    | Розділ 5.                                 | 27.03.2025р.                   |          |
| 7.    | Розділ 6.                                 | 10.04.2025р.                   |          |
| 8.    | Висновки                                  | 22.05.2025р.                   |          |
| 9.    | Графічна частина та технічна документація | 22.05.2025р..                  |          |

Студент \_\_\_\_\_ Валерій ГЛІБКО

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Ганна ХАРЧЕНКО

[illegible]

« Удосконалення системи автоматичного керування освітленням та  
мікрокліматом побутового приміщення »

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота складається із 98 листів пояснювальної записки, яка включає шість розділів та графічну частину виконану на 2 листах формату А1 креслярського паперу.

Ключові слова: освітлення, мікроклімат, контролер, температура, навколишнє середовище, вплив, пристрій, температура, вологість.

У даній дипломній роботі здійснено огляд науково-технічної літератури, що висвітлює вплив температури та яскравості освітлення на людину. Також проаналізовано вплив навколишньої температури повітря на самопочуття та загальний стан людини. Проведено дослідження пристроїв та систем, які можна використати для удосконалення системи автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення, і які вже представлені на ринку. Проаналізовано їх алгоритми роботи та структурні схеми.

На основі отриманих даних розроблено пристрій для контролю освітленості в побутових приміщеннях, який має покращити роботу систем автоматичного керування освітлення та мікрокліматом здійснюючи керування освітленням та параметри повітря за спеціальними алгоритмами, що дасть змогу покращити продуктивність та самопочуття людини, а також задовольнити більш глибокий відпочинок і розслабленість, зменшити енергоспоживання електроенергії системами освітлення та мікроклімату.

Описано розрахунки параметрів та алгоритм функціонування розробленого пристрою, а також проведено вибір оптимальної компонентної бази. Розроблено структурну та принципову схеми, а також програмне забезпечення для керування пристроєм.

## ЗМІСТ

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП                                                                         | 8  |
| 1 ОГЛЯД НАУКОВИХ І ТЕХНІЧНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМАТИКОЮ РОБОТИ                       | 11 |
| 1.1 Вплив освітлення на стан і комфорт людини                                 | 11 |
| 1.1.1 Колірна температура                                                     | 20 |
| 1.1.2 Вплив теплої температури світла на людину                               | 24 |
| 1.1.3 Вплив холодної температури світла на людину                             | 24 |
| 1.1.4 Оптимальний вибір колірної температури світла                           | 25 |
| 1.2 Вплив температури та відносної вологості повітря на стан і комфорт людини | 27 |
| 1.2.1 Вплив температури навколишнього середовища на стан і комфорт людини     | 28 |
| 1.2.2 Вплив відносної вологості повітря на стан і комфорт людини              | 29 |
| 2 ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ                                   | 34 |
| 2.1 Контролери ULC                                                            | 36 |
| 2.2 Контролер SunLync                                                         | 37 |
| 2.3 Контролер Arlight DALI-TIMER-DIN                                          | 37 |
| 2.4 Контролер TUYA                                                            | 38 |
| 2.5 Контролер RoomSet                                                         | 39 |
| 2.6 Контролер ILLUSTRIS                                                       | 40 |
| 2.7 Контролер ActiveAhead                                                     | 41 |
| 3 РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ                                              | 42 |
| 3.1 Необхідні вимоги до пристрою                                              | 42 |
| 3.2 Структурна схема пристрою та її основні складові                          | 46 |
| 3.3 Вибір елементної бази                                                     | 49 |
| 3.3.1 Мікроконтролер                                                          | 49 |
| 3.3.2 Світлодіодна стрічка                                                    | 54 |

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.3 Драйвер світлодіодної стрічки                                  | 56 |
| 3.3.4 Блок живлення                                                  | 60 |
| 3.3.5 Комутатори нагрівача та зволожувача повітря                    | 63 |
| 3.3.6 Блок кнопок                                                    | 64 |
| 3.3.7 LCD дисплей                                                    | 65 |
| 3.3.8 Годинник реального часу                                        | 66 |
| 3.3.9 Датчик мікроклімату                                            | 66 |
| 3.3.10 I2C інтерфейс                                                 | 68 |
| 3.4 Електрична принципова схема та її особливості                    | 71 |
| 4 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ                     | 75 |
| 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА                                                 | 80 |
| 5.1 Аналіз капітальних вкладень для реалізації розробленого пристрою | 80 |
| 5.2 Аналіз витрат на функціонування розробленого пристрою            | 83 |
| 5.3 Розрахунок терміну окупності розробленого пристрою               | 85 |
| 6. ОХОРОНА ПРАЦІ                                                     | 88 |
| 6.1 Заходи безпеки при експлуатації електроустановок низької напруги | 88 |
| 6.2 Надання першої допомоги при електротравмах                       | 91 |
| ВИСНОВКИ                                                             | 93 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ                             | 94 |
| ДОДАТКИ                                                              | 97 |

## ВСТУП

У сучасному світі питання турботи про здоров'я набуло особливої актуальності. Високий темп життя змушує людей приділяти дедалі менше уваги власному самопочуттю та потребам організму. Саме тому широкого поширення набули пристрої, що відстежують стан здоров'я та можуть виконувати функції, наприклад, аналіз пульсу та рекомендації щодо покращення самопочуття.

З давніх часів люди прагнули оптимізувати робочі процеси. Винаходи спрямовувалися на полегшення важкої фізичної праці, автоматизацію рутинних завдань і швидку обробку великих обсягів інформації. Зараз майже всю роботу виконують комп'ютери та автоматизовані системи, що значно спрощують обробку величезних масивів даних.

Сьогодні комп'ютерні технології присутні у всіх сферах життя завдяки малій величині пристроїв та потужним обчислювальним можливостям. Технологічний прогрес привів до широкого використання мобільних телефонів, розумних годинників, GPS-навігаторів, електронних аксесуарів – від пульсоксиметрів до термометрів. Цей розвиток стимулюється великими інвестиціями та підвищеним попитом на персональні гаджети.

Останнім часом особливо популярною стала концепція Інтернету речей (IoT) – система взаємопов'язаних електронних пристроїв, що обробляють дані про навколишнє середовище та стан здоров'я. З її допомогою можна відстежувати температуру тіла, пульс та інші показники здоров'я. Хоча ведуться дискусії щодо необхідності таких технологій, підтверджено багато випадків, коли IoT-пристрої врятували життя, доводячи їх користь для людства.

Також активно розвивається концепція "розумного будинку", що включає датчики та автоматизовані системи, які беруть на себе частину повсякденних задач. Однак, попри технологічні досягнення, люди

продовжують працювати понад норму, часто не приділяючи уваги власному здоров'ю.

Впровадження систем контролю мікроклімату (температури, вологості, освітлення) дозволяє збільшити продуктивність, покращити якість відпочинку та забезпечити комфортні умови для життєдіяльності. Розвиток цієї сфери сприятиме зростанню рівня життя шляхом інтеграції розумних пристроїв у повсякденне середовище.

Метою дипломної роботи було дослідження впливу температури освітлення та параметрів повітря на людину, а також удосконалення систем автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення шляхом розробки пристрою, що дозволяє керувати цими параметрами.

Тема є перспективною, оскільки такі пристрої можна використовувати у різних середовищах – від приватних будинків і квартир до підприємств, шкіл, дитячих садків та офісів. Саме у робочих приміщеннях подібні системи особливо актуальні, адже сидяча монотонна робота негативно впливає на концентрацію, мотивацію та уважність.

Пристрій виконує такі функції:

- регулювання рівня освітленості в діапазоні 20 – 100%;
- зміна колірної температури світла в межах 1500 – 9000K;
- підтримка оптимальної температури повітря в приміщенні (15 – 35°C);
- контроль рівня вологості в межах 30 – 80%;
- автоматичне ввімкнення та вимкнення відповідно до даних годинника реального часу.

У процесі розробки пристрою, який удосконалює систему автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення були вирішені такі завдання:

- аналіз існуючих аналогів, представлених на ринку;

- дослідження алгоритмів роботи та структурних схем подібних пристроїв;
- розробка структурної схеми системи;
- вибір елементної бази для реалізації пристрою;
- створення електричної принципової схеми;
- розробка програмного забезпечення для управління пристроєм.

## 1 ОГЛЯД НАУКОВИХ І ТЕХНІЧНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМАТИКОЮ РОБОТИ

### 1.1 Вплив освітлення на стан і комфорт людини

Світло є невід'ємною частиною життя людини, адже важко уявити світ без сонячних променів, які забезпечують освітлення та тепло в холодну пору. Воно відіграє ключову роль у фізіологічних процесах, що відбуваються в організмі. Чергування зміни дня та ночі стало важливим фактором, який впливає на біологічні ритми людини.

Окрім зорових рецепторів, відповідальних за отримання та аналіз світлової інформації, у людини існує третій тип фоторецепторів, відкритий нещодавно – рецептор циркадного циклу. Ці рецептори допомагають орієнтуватися у часі, а внутрішній годинник, сприймаючи рівень освітленості, регулює важливі фізіологічні процеси. Відкриття цього рецептора вплинуло на сучасні вимоги до якості освітлення.

Хоча вплив світлодіодного освітлення на людський організм ще не до кінця вивчений, якість штучного світла постійно вдосконалюється. Це пояснюється необхідністю компенсації нестачі природного світла, адже люди проводять дедалі більше часу у приміщеннях. Таким чином, вивчення цієї теми є надзвичайно актуальним.

Сонячне світло істотно впливає на організм – завдяки ньому людина орієнтується у просторі, досліджує навколишній світ і координує рухи. Від рівня освітлення залежить настрій, а його недостатня кількість може призвести до занепаду сил та погіршення здоров'я. Розвиток нервової системи теж значною мірою залежить від достатнього рівня сонячного освітлення.

Світло має ще одну важливу властивість – воно допомагає запобігати інфекційним захворюванням. Сонячні промені здатні знищувати грибки та бактерії, що знаходяться на шкірі людини, а також сприяють виробленню

необхідної кількості гемоглобіну. Крім того, сонячне світло тонує м'язи та сприяє загальному оздоровленню організму.

Недостатня або неякісна освітленість може негативно впливати на людину – знижує настрій, викликає перевтому, дискомфорт та безсоння, а також зменшує продуктивність. Світло відіграє ключову роль у підтримці здоров'я, тому його значення важко переоцінити.

Світло має значний вплив на людський організм, оскільки якість освітлення безпосередньо впливає на фізіологічні процеси. За статистикою, більшість людей працюють близько 40 годин на тиждень, переважно в умовах штучного освітлення. Навіть у літній період кабінети не завжди мають достатньо денного світла, а взимку освітлення нерідко вмикається на весь день.

Протягом дня зміни освітленості можуть викликати різкі перепади активності, раптову апатію, сонливість та втому, що свідчить про значний вплив світла на загальне самопочуття.

Для офісів, робочих просторів, житлових приміщень та дитячих кімнат якісне освітлення повинно рівномірно розподіляти світловий потік, щоб забезпечити комфорт і безпеку. Використання сфокусованого світла без належного розсіювання небезпечно, оскільки окремі промені, потрапляючи на сітківку ока, можуть викликати дискомфорт, больові відчуття та тимчасове погіршення зору.

Світло має важливий вплив на біоритми людини, оскільки природне освітлення сприяє вищій активності порівняно зі штучним світлом. У сонячну погоду працездатність людей зазвичай вища, тоді як у похмурі дні вона може знижуватися. Взимку, коли світловий день коротший, продуктивність людини зменшується.

Світло впливає на особливо світлочутливий фотопігмент, що регулює внутрішні цикли організму. Робота вночі може суперечити природним ритмам, оскільки організм налаштований на відпочинок і сон. У темний період доби сповільнюється діяльність внутрішніх органів, знижується

температура тіла, а з настанням світла зростає артеріальний тиск, з'являється апетит, активізуються мозкові процеси.

Саме тому осінь і зима часто супроводжуються втомою, апатією та сонливістю, оскільки пізні світанки призводять до нестачі сонячного світла. Біологічні ритми людини і природне освітлення тісно взаємопов'язані, що пояснює вплив світла на організм.

Циркадні ритми – це добові зміни біологічних процесів, що відбуваються в організмі людини. Вони включають періоди сну, бадьорості, активності, розслаблення, продуктивності та втоми. Формування цих ритмів обумовлене дією гормонів, таких як мелатонін і кортизол, які регулюються внутрішнім біологічним годинником. Хоча циркадні ритми визначаються генетично, їх тривалість може змінюватися залежно від зовнішніх факторів, включаючи час пробудження, прийом їжі та відпочинок.

Вплив світла на здоров'я – це науково доведений факт. Дослідження підтверджують, що характеристики освітлення безпосередньо впливають на фізіологічні процеси організму. Людський біологічний цикл налаштований так, що активність припадає на денний час, а відпочинок – на ніч.

Освітлення допомагає орієнтуватися у часових проміжках, тому зміна якості та температури світла може впливати на внутрішні біологічні процеси.

Людський організм має складну систему регулювання біоритмів, що дозволяє завчасно адаптуватися до змін навколишнього середовища. Наприклад, у нічний час, ще до сходу сонця, організм прискорює обмін речовин, підвищує температуру тіла та активізує життєво важливі процеси. Ввечері, коли сонце ще не зайшло, він поступово сповільнює активність, готуючись до режиму відпочинку та сну.

Одним із ключових регуляторів цих процесів є гормон мелатонін, який відповідає за повноцінний відпочинок і виробляється лише в темний час доби. Під його впливом відбувається зниження артеріального тиску, зменшення рівня глюкози в крові та зниження температури тіла, що сприяє якісному відновленню організму.

Наукові дослідження підтверджують, що рівень мелатоніну відіграє важливу роль у зниженні ризику онкологічних захворювань, а його дефіцит може бути небезпечним для здоров'я. Існує також гіпотеза, що пригнічення вироблення мелатоніну через світловий вплив у нічний час може збільшити ймовірність розвитку раку молочної залози.

Мелатонін – це гормон, що виробляється в епіфізі головного мозку. Його відкрив А. Лернер у 1958 році, і встановлено, що цей гормон з'являється ще на 6-7 день розвитку ембріона. Його рецептори, розташовані в центральних і периферійних тканинах, формуються на ранніх етапах розвитку організму. Активність епіфіза підвищується з народження та досягає піку у віці 10-30 років, після чого поступово зменшується. Окрім епіфіза, мелатонін також синтезується циліарним тілом, сітківкою ока та органами шлунково-кишкового тракту.

Вироблення мелатоніну має циркадну залежність – його рівень зростає ввечері, досягаючи максимального значення вночі, особливо за 1-2 години до пробудження. Найнижча концентрація цього гормону спостерігається вранці, а вдень його синтез майже не відбувається. Вироблення мелатоніну є періодичним процесом, на який впливають стан активності або сну, температура навколишнього середовища, електромагнітні поля, загальний стан здоров'я та вік людини.

За пробудження організму відповідає гормон кортизол – він підвищує артеріальний тиск, збільшує тонус судин, прискорює серцебиття та регулює вуглеводний обмін.

Мелатонін починає синтезуватися ввечері, досягаючи пікових значень у нічний час, а до ранку його рівень значно знижується. Кортизол, навпаки, виробляється у великій кількості зранку, досягаючи максимальної концентрації, і поступово зменшується до вечора, майже зникаючи з організму (див. рисунок 1.1).

А. Лернер встановив, що вироблення кортизолу в організмі людини збільшується під впливом синього світла. У відповідь на сигнал від гіпофіза,

надниркові залози запускають синтез кортизолу з холестерину. Основне завдання цього гормону – забезпечення організму енергією. Разом з інсуліном кортизол допомагає клітинам розщеплювати глюкозу та перетворювати жири на жирні кислоти.

Для підтримання здорового рівня кортизолу важливо дотримуватися нічного режиму сну, оскільки його концентрація в організмі відновлюється саме під час нічного відпочинку.

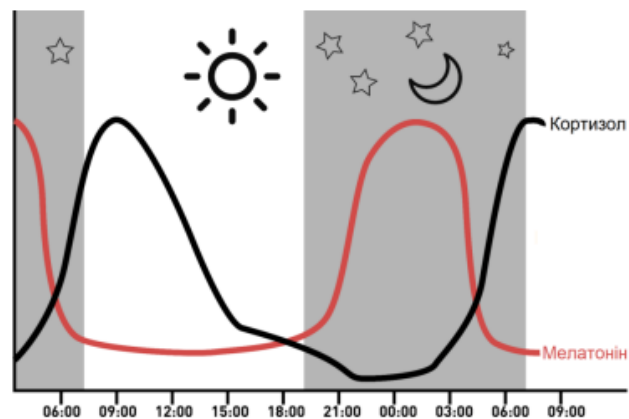


Рисунок 1.1 – Зміна концентрації мелатоніну та кортизолу в різний час доби

Рівень кортизолу протягом дня знижується, досягаючи мінімуму ввечері, а вночі знову зростає. Щоб підтримувати фізичну витривалість, важливо мати якісний сон, адже саме він допомагає відновити баланс мелатоніну та кортизолу.

Для стимуляції пробудження та покращення настрою використовуються світлодіодні лампи із синім світлом. Однак надлишок такого освітлення може шкодити здоров'ю, тому не варто зловживати короткохвильовим світлом. Воно пригнічує природне вироблення гормонів, тому неможливо повністю замінити природні процеси стимуляції організму штучним освітленням.

Дослідження показують, що порушення біоритмів та режиму сну можуть спричиняти проблеми зі здоров'ям. Синє світло змінює циркадний цикл, знижує рівень мелатоніну, підвищує активність, прискорює серцебиття

та збільшує температуру тіла. Люмінесцентні лампи мають більшу частку синього спектра, тому вони сильніше пригнічують вироблення мелатоніну.

Крім цього, люмінесцентне освітлення збільшує артеріальний тиск та активність мозку, що впливає на загальний стан організму.

Світлодіодне освітлення з високим вмістом синього спектра може впливати на сон, знижуючи його глибину. Останнім часом увага приділяється не лише технічним характеристикам світла, а й біологічному впливу.

Білі світлодіоди, які широко використовуються, мають інтенсивну блакитну смугу (450 – 460 нм), що пригнічує вироблення мелатоніну, порушуючи біологічні ритми. Масове встановлення таких джерел освітлення в побуті, на робочих місцях та в громадських просторах може призвести до збоїв циркадних ритмів та інших негативних наслідків.

Вплив штучного освітлення на зорову систему ще недостатньо вивчений. Короткохвильове синє світло, з одного боку, допомагає регулювати синтез меланіну, а з іншого – може негативно впливати на сітківку ока.

Якість освітлення важлива для збереження працездатності, особливо в умовах замкненого простору. Тривала робота при невідповідному освітленні може погіршити здоров'я та знизити продуктивність.

Світлодіодне випромінювання може впливати на організм людини значно сильніше (до 300%) порівняно з лампами розжарювання. Однією з актуальних дискусій є питання надмірного світлового впливу від світлодіодних джерел з високою колірною температурою. Перед їх використанням у дитячих та навчальних закладах рекомендується проводити медичну експертизу, а оптимальним вибором можуть бути світильники зі світловою температурою, близькою до ламп розжарювання.

Сонячне світло містить широкий спектр хвиль, зокрема синю складову. Головна відмінність штучного освітлення – різна інтенсивність окремих спектральних компонентів. Це важливий фактор, оскільки біологічний

годинник людини найбільш чутливий до синього світла. У сучасному світі багато людей більшу частину дня проводять у приміщеннях (в офісах, вдома), уникаючи сонячного освітлення. З часом їх циркадні ритми стають менш вираженими.

З цієї причини досліджуються впливи штучного світла на біоритми людей похилого віку в будинках для літніх осіб. У багатьох лікарнях імітують денне світло для підтримки пацієнтів з серйозними хворобами, наприклад інсультом. У школах спеціальне освітлення сприяє концентрації учнів, що позитивно впливає на їх успішність.

Вивчення впливу світла може значно покращити стан психічного та фізичного здоров'я, однак важливо усвідомлювати потужний вплив сучасного освітлення на поведінку та самопочуття людини.

Спектральні характеристики світлових джерел (рис. 1.2) є ключовим параметром при виборі штучного освітлення, оскільки вони впливають не лише на зорову систему, але й на загальний стан здоров'я людини. Світлодіодні джерела холодного світла мають біологічний вплив, який перевищує дію ламп розжарювання більш ніж у три рази, що може позначатися на фізіологічних процесах організму.

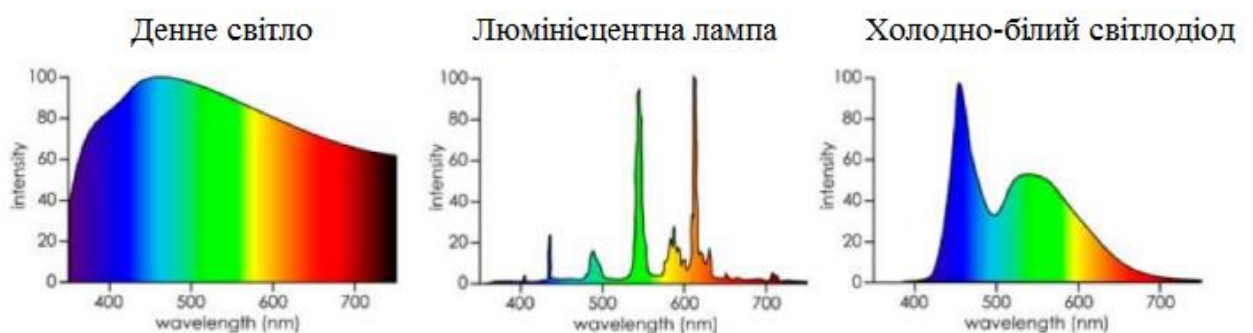


Рисунок 1.2 – Спектр денного світла, люмінесцентної лампи та холодного білого світлодіоду

Для житлових приміщень, дитячих садків та шкіл рекомендується використовувати світлодіодні світильники, чия біологічна активність подібна

до ламп розжарювання. Це пояснюється тим, що лампи розжарювання тривалий час використовувалися у побуті без негативного впливу на фізичне та психологічне здоров'я людини.

Пік продуктивності зазвичай припадає на 10 – 11 годину ранку та 15 – 17 годин, тоді як після 17:00 організм поступово готується до сну. Через це робоча ефективність у вечірній час знижується – спочатку спадає мозкова активність (після 19:00), а в 22 – 23 години додається і фізична втома.

Такі ритми організму визначають основні правила роботи: якщо у приміщенні присутнє штучне освітлення, воно пригнічує вироблення мелатоніну – гормону, що відповідає за якісний відпочинок. У природних умовах рівень мелатоніну зростає при відсутності світла, сигналізуючи організму про необхідність сну.

Втім, в реальному житті працівник може не відчувати ознак втоми та продовжувати працювати, проте його продуктивність все одно знижується, оскільки біологічний годинник поступово втрачає концентрацію та активність, навіть без впливу освітлення.

Через це виникає невідповідність між біологічними ритмами організму та зовнішніми умовами, що може спричиняти підвищений рівень стресу та погіршення настрою. Водночас, це не призводить до серйозних порушень здоров'я, адже усі системи організму працюють у нормальному режимі, хоча втручання у природні ритми помітне.

Цю проблему можна вирішити, забезпечуючи оптимальне освітлення, яке буде біологічно безпечним і матиме правильне емоційне забарвлення, що мінімізує негативні наслідки для здоров'я та не створює зайвих витрат для підприємства.

Хоча це питання виглядає складним, активні дослідження, які тривають з середини минулого століття, дають підстави сподіватися на швидкий прогрес у цьому напрямі.

Деякі технічні характеристики освітлювальних приладів можуть негативно впливати на людину:

- низький рівень освітленості є найбільш небезпечним фактором, оскільки може викликати головний біль, перенапруження очей та швидку втоми; погане освітлення в приміщенні сприяє появі пригніченого настрою, тому важливо правильно вибрати штучне освітлення, враховуючи його розташування та потужність;
- високий коефіцієнт пульсацій негативно впливає на зір, хоча деякі пульсації з частотою електромережі людина не помічає безпосередньо;
- пульсації світла можуть спричиняти стробоскопічний ефект, який становить небезпеку при роботі з верстатами та може призвести до нещасних випадків;
- сфокусоване пряме або відбите освітлення створює дискомфорт, тому варто використовувати розсіяне освітлення для комфорту та безпеки.

Рівень та тип освітлення безпосередньо впливають на якість роботи людини. Вчені встановили, що:

- грамотно підібране освітлення підвищує концентрацію та уважність, а загальна працездатність зростає до 32%;
- якісне освітлення дозволяє знизити кількість нещасних випадків у виробничих умовах удвічі;
- кількість браку на виробництві зменшується на 30% при належному освітленні;
- в освітніх закладах правильно налаштоване світло допомагає краще засвоювати інформацію, зменшує втому та знижує ризик розвитку короткозорості.

Окрім рівня освітленості та розташування джерел світла, важливий вплив на працездатність людини має тип освітлення. Лампи розжарювання – доступні за ціною, проте їх ефективність низька, а високий рівень пульсацій може негативно впливати на зорові нерви. Люмінесцентні лампи – містять

пари ртуті, що робить їх небезпечними у використанні, вони також знижують рівень мелатоніну, що може ослаблювати імунітет та спричиняти недосипання. Галогенові лампи – мають безпечну конструкцію та якісну передачу світла, але схильні до стробоскопічного ефекту, який погіршує концентрацію та знижує працездатність. Світлодіодні лампи – порівняно новий вид освітлення для приміщень, їхні переваги включають низьку напругу живлення, відсутність нагріву та безпечну конструкцію, вони можуть підвищити продуктивність роботи на 30% у порівнянні з іншими видами ламп.

Різні джерела світла по-різному впливають на людину. М'яке світло сприяє розслабленню та підготовці до сну, тоді як яскраве денне освітлення стимулює працездатність і є оптимальним для офісів та робочих приміщень. Природне світло корисне для зору та нервової системи, його доцільно використовувати для відпочинку. У той час як тьмяне світло може викликати занепокоєння та психічний дискомфорт, а мерехтливе освітлення здатне спровокувати епілептичні припадки, навіть у людей без схильності до них.

Колір освітлення також значно впливає на психічний та емоційний стан: жовтий асоціюється з радістю та гарним настроєм, допомагає зменшити втому та сонливість; зелений знімає стрес, сприяє розслабленню, тому добре підходить для спальних приміщень; білий – найбільш наближений до природного освітлення, підвищує ініціативність та працездатність; червоний – колір енергії та бадьорості, але його надмірне використання може підвищити артеріальний тиск; помаранчевий – стимулює апетит; сині та фіолетові відтінки можуть мати пригнічувальний ефект на психіку.

### 1.1.1 Колірна температура

Температура джерел світла – це важлива характеристика, що визначає довжину хвилі випромінювання. Її ще називають температурою Планка, яка залежить від температури чорного тіла, нагрітого до певного значення для

отримання випромінювання з потрібною колірністю. Якщо колір світла такого нагрітого об'єкта збігається з кольором досліджуваного джерела, то йому присвоюється відповідна колірна температура.

Колірна температура вимірюється в Кельвінах – при цьому чорний колір відповідає значенню: 0 К. Це фізичний параметр, що визначає відтінок світла, яке випромінює джерело (див. рисунок 1.3).

За колірною температурою штучне освітлення поділяється на:

- тепле (лампи розжарювання);
- нейтральне (ксенонові лампи);
- холодне (люмінесцентні лампи).

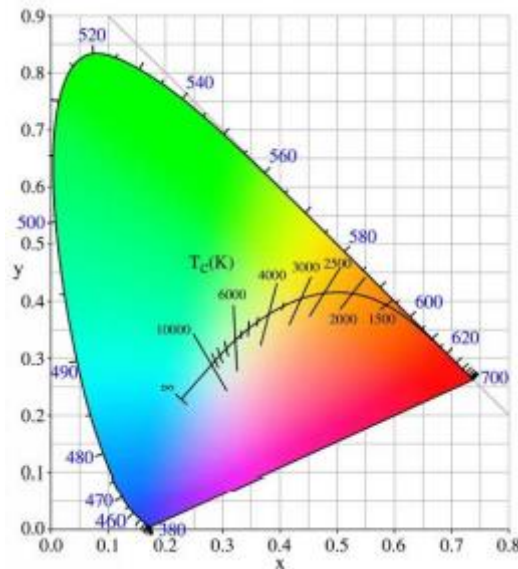


Рисунок 1.3 – Колірна температурна модель CIE 1931

Колірна температура визначає, як людина сприймає відтінки поверхонь під певним освітленням (див. рисунок 1.4). Вона є своєрідним показником об'єктивності світлового впливу та особливостей сприйняття кольору на освітлених об'єктах.

Саме тому вибір оптимальної колірної температури є важливим, залежно від характеру діяльності та призначення приміщення (див. рисунок 1.5).



Рисунок 1.4 – Сприйняття освітлення різної колірної температури

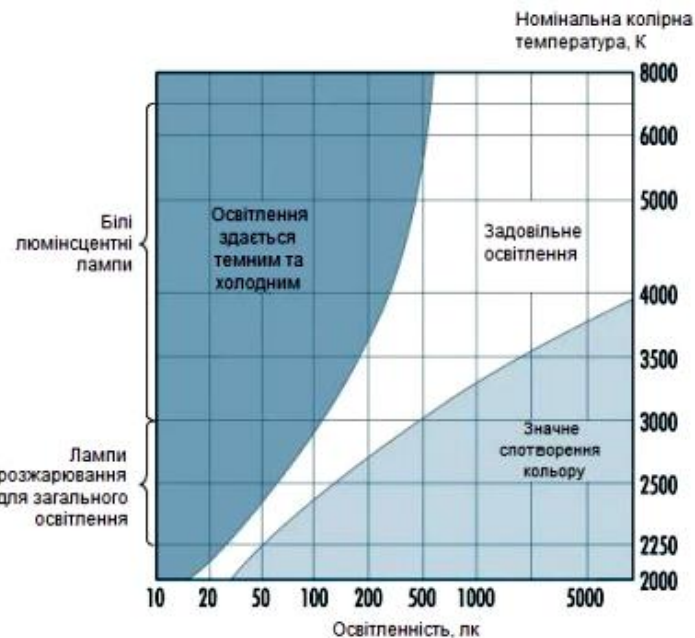


Рисунок 1.5 – Крива комфорту (номограма) Круїтхофа

Колірну температуру можна умовно поділити на три основні категорії: тепле, денне та холодне світло. Тепле біле світло має колірну температуру від 2700 до 3200 К і вважається найкомфортнішим для людини. Саме тому воно оптимально підходить для житлових приміщень. Такого ефекту можна досягти за допомогою ламп розжарювання (див. таблицю 1.1).

Денне світло має колірну температуру від 3500 до 5000 К. Це звичайне біле світло, подібне до ранкового сонця (див. таблицю 1.1). Його

нейтральний відтінок майже не спотворює кольори предметів, тому воно ідеально підходить для нежитлових приміщень, шкіл, офісів і заводів.

Холодне світло знаходиться в діапазоні 5000 – 7000 К. За спектром воно нагадує яскраве денне освітлення (див. таблицю 1.1) і широко використовується в лікарнях, лабораторіях, парках, парковках, рекламних конструкціях тощо.

Таблиця 1.1 – Джерела світла різної колірної температури

| ТЕМПЕРАТУРА (Т, К) | ДЖЕРЕЛО СВІТЛА                                                                  |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 800 К              | Початок видимого спектру випромінення. Темно-червоне світіння розжареного тіла. |
| 1500 К             | Світло вогню свічки                                                             |
| 2800 К             | Лампа розжарювання потужністю 60-100 Вт                                         |
| 3000 К             | Лампа розжарювання потужністю 60-200 Вт, галогенові лампи                       |
| 3400 К             | Сонце біля горизонту.                                                           |
| 3800 К             | Лампи для підсвітки м'ясних продуктів в магазинах.                              |
| 4200 К             | Лампи денного світла                                                            |
| 4500 К             | Ранкове сонце                                                                   |
| 4800 К             | Ксенонова дугова лампа. Електрична дуга                                         |
| 5000 К             | Сонце в обід.                                                                   |
| 5500 К             | Хмари опівдні                                                                   |
| 6000 К             | Фотоспалах                                                                      |
| 6200 К             | Лампи денного світла                                                            |
| 6500 К             | Близьке до денного світла                                                       |
| 7000 К             | Похмура погода                                                                  |
| 8000 К             | Сутінки                                                                         |
| 9500 К             | Синє безхмарне небо на північній стороні Землі                                  |

Колірна температура світла значно впливає на сприйняття яскравості та відтінків предметів в інтер'єрі. Саме тому було визначено параметр передачі кольору, який показує, наскільки освітлення точно передає кольори поверхонь без спотворень. Цей показник вимірюється в  $R_a$  (Rendering Average Index), а оптимальними значеннями вважаються 80 – 100  $R_a$ .

Колірна температура освітлення відіграє важливу роль у промисловості, особливо для забезпечення безпеки працівників. Залежно від специфіки роботи, рекомендуються такі діапазони температур:

- від 5000 К до 6500 К – для галузей з високими вимогами до розпізнавання кольорів, зокрема контроль якості продукції, сортування та підбір фарб;
- від 3000 К до 6500 К – оптимальний діапазон для співставлення кольорів під час фарбування та шиття;
- від 4000 К до 6000 К – для завдань з менш жорсткими вимогами до кольорового сприйняття, таких як обробка металів, пластмас та збірка машин.

### 1.1.2 Вплив теплої температури світла на людину

Тепле світло допомагає перевести організм у режим відпочинку, стимулюючи вироблення мелатоніну, що сприяє розслабленню та якісному відновленню. Воно ідеально підходить для спалень, зон відпочинку, кухонь, дитячих кімнат та дитячих садків, адже створює сприятливі умови для сну та відновлення сил після важкого робочого дня.

З давніх часів люди використовували лише джерела теплого світла, такі як багаття, свічки та газові лампи, однак їх колірна температура була занадто низькою, щоб суттєво впливати на організм.

З початком XX століття та винайденням ламп розжарювання колірна температура освітлення стала вищою, перебуваючи в межах 2400 – 2800 К. Таке штучне освітлення вже могло впливати на біологічні процеси, оскільки відповідало природному періоду активності. Крім того, лампи розжарювання мають високу інтенсивність світла, що збільшує їх вплив на людину.

### 1.1.3 Вплив холодної температури світла на людину

Вплив холодного світла на організм людини є доволі цікавим феноменом. Світло з холодними відтінками сигналізує організму, що настав

ранок і час активувати вироблення кортизолу, який допомагає прокидатися та переходити в режим активності.

У повсякденному житті джерелами холодного світла є екрани гаджетів, рекламні панелі, освітлення приміщень, парків, скверів, вулиць, акваріумів та електронних пристроїв.

З масовим впровадженням люмінесцентних і світлодіодних ламп, колірна температура освітлення досягла 6500 К. Лише через деякий час, з розвитком виробничих технологій, вдалося знизити ці показники до більш комфортного рівня.

При колірній температурі 6500 К організм отримує надмірну стимуляцію, що спершу негативно впливало на здоров'я людини.

#### 1.1.4 Оптимальний вибір колірної температури світла

Колірна температура освітлення впливає на активність мозку та рівень концентрації. Холодне світло стимулює роботу мозку, підвищує уважність та покращує продуктивність, тоді як тепле світло, навпаки, сприяє розслабленню, знижує концентрацію та переводить організм у режим відпочинку.

Щоб забезпечити оптимальний комфорт, варто правильно підбирати колірну температуру відповідно до призначення приміщення:

- житлові приміщення, кухні, спальні та зони відпочинку – краще використовувати тепле світло, яке сприяє розслабленню та відновленню сил;
- офіси, школи, заводи та фабрики – доцільно застосовувати джерела холодного світла, що допомагають підвищити концентрацію та ефективність роботи.

Колірну температуру можна використовувати для регулювання режимів освітлення, адаптуючи її до завдань:

- "Відпочинок" – тепле світло для релаксації;

- "Робота" – холодне світло для зосередженості;
- "Обід" – помірно тепле світло для відновлення енергії;
- "Ділова зустріч" – нейтральне або холодне світло для швидкої аналітики та активного мислення.

Нейтральне освітлення підходить для ситуацій, коли важливо зберігати баланс між активністю та комфортом.

Застосування холодних відтінків світла дозволяє максимально підвищити продуктивність працівників, тоді як тепле або помірно тепле біле світло є оптимальним для зон відпочинку, сприяючи спокою та розслабленню.

Враховуючи тривалість світлового дня у певних кліматичних умовах, використовуються лампи денного світла, щоб компенсувати нестачу природного освітлення. Це особливо ефективно для монотонної діяльності, що не потребує інтенсивної розумової активності, і коли робочий день завершується вчасно.

Тому для оптимізації роботи та позитивного впливу освітлення на здоров'я людини потрібно правильно комбінувати різні температури освітлення, тобто змінюють колірну температуру в приміщенні за природнім законом (див. рисунок 1.6). Сьогодні без зайвих труднощів можна знайти джерела освітлення зі змінною колірною температурою. Такі пристрої містять кілька світлодіодів з різним спектром випромінювання, а спеціальний контролер регулює співвідношення їхнього світла, забезпечуючи необхідну колірну температуру. Єдине питання постає в тому, щоб автоматизувати даний процес, в чому і полягає наша задача в даній дипломній роботі.

Дотримання правильного режиму дня з точки зору освітлення побутового приміщення, без порушення циклів активності та відпочинку, допомагає підтримувати здоров'я організму. Це також сповільнює процеси старіння та зміцнює імунітет, сприяючи загальному фізичному та психічному благополуччю.



Рисунок 1.6 – Автоматична зміна колірної температури в офісі протягом дня

## 1.2 Вплив температури та відносної вологості повітря на стан і комфорт людини

Функціонування будь-якого живого організму ґрунтується на теплових процесах, що забезпечують обмін тепла між тілом і навколишнім середовищем. Тому важливо досліджувати вплив температури та вологості повітря на організм, щоб контролювати самопочуття людини.

На стан організму впливає не лише фактична температура, а й її добові коливання. Зміни середньодобової температури на 1 – 2 °C вважаються незначними, на 3 – 4 °C – помірними, а коливання понад 4°C – різкими.

Температурне сприйняття залежить також від рівня активності людини та вологості повітря. При однаковій температурі зміна вмісту водяної пари може суттєво впливати на стан організму.

Порівняно з природними температурними коливаннями, діапазон комфортної температури для людини значно вужчий. При температурі тіла поза межами 26 – 40 °C можливі незворотні процеси в організмі.

Оптимальними умовами вважається температура 16 – 18 °С при вологості 50%. При високій вологості порушується випаровування з поверхні тіла, що ускладнює перенесення спеки та посилює вплив холоду.

Сприйняття температури є індивідуальним – одні люди комфортно почуваються в морозному кліматі, тоді як інші – в теплих та сухих умовах. Це залежить від фізіологічних і психологічних особливостей, а також адаптації до клімату.

### 1.2.1 Вплив температури навколишнього середовища на стан і комфорт людини

Температура навколишнього середовища є ключовим фактором, що впливає на життєдіяльність організму. Приблизно 75 % тепла розсіюється в навколишнє середовище, 20 % – випаровується разом із виділеннями, а лише 2 – 3 % витрачається на нагрівання повітря та їжі.

При низькій температурі організм зменшує тепловіддачу та збільшує вироблення тепла. Це відбувається за сигналом центральної нервової системи, яка реагує на подразнення шкірних рецепторів. У відповідь судини звужуються, а м'язи мимовільно скорочуються. При підвищенні температури капіляри розширюються, що сприяє розслабленню організму.

Спека провокує прискорене серцебиття та дихання, а температура шкіри зростає. Захистом від перегріву є потовиділення, що регулює охолодження організму. Його ефективність залежить від швидкості випаровування вологи, на що впливає жировий шар, вироблений сальними залозами.

Комбінація високої температури та підвищеної вологості є особливо несприятливою. Наприклад, при 40 °С і вологості 30 % людина почувається так само, як при 30 °С і 80 % вологості. Такі умови можуть викликати головний біль, погіршення самопочуття, задишку, зниження уваги та координації рухів.

Працездатність знижується залежно від температури:

- при 24°C – на 15%;
- при 28°C – на 30%.

Під час спекотної погоди людина може втрачати від 2 до 4 літрів рідини, виконуючи фізичну роботу. Виділення поту зростає в 2 – 3 рази при русі по дорозі та в 4 – 6 разів під час занять спортом.

Висока температура порушує водно-сольовий баланс, тоді як тривала дія холоду може призвести до порушення кровообігу, ревматизму, грипу та хвороб дихальних шляхів.

Мінімально допустимою температурою для організму є 11 °C, а при нижчих значеннях виникає задубіння тканин.

Дослідження дорожньо-транспортних пригод показали:

- кількість аварій збільшується під час дощу та туману, але у спеку та сильний холод різко зростає на 20%;
- різкі температурні перепади підвищують рівень смертності в ДТП на 10%;
- раптове похолодання є особливо небезпечним, оскільки організм не встигає адаптуватися, що створює значне навантаження.

Теплове сприйняття залежить не лише від температури повітря, а й від вологості та швидкості повітряних потоків. Висока вологість у поєднанні з високою температурою негативно впливає на самопочуття, а комфорт людини забезпечується гармонійним поєднанням усіх цих факторів.

### 1.2.2 Вплив відносної вологості повітря на стан і комфорт людини

Вологість повітря суттєво впливає на стан організму. Навіть при однаковій температурі різний рівень вологості може по-різному позначитися на самопочутті людини.

Підвищена вологість посилює негативний вплив як спеки, так і холоду, оскільки уповільнює процес випаровування вологи з поверхні шкіри, що

ускладнює терморегуляцію організму. У таких умовах людині важче переносити екстремальні температури, а ризик повітряних інфекцій суттєво зростає.

Надмірно висока або низька вологість повітря може призвести до швидкої втомлюваності, погіршення пам'яті та сприйняття інформації. При високій вологості стає важче дихати, може виникнути кашель, а також збільшується ризик бронхо-легеневих захворювань, таких як астма та бронхіт.

Вологість також впливає на концентрацію кисню в атмосфері, тепловий обмін і процес потовиділення. Люди, які мають гіпертонію або атеросклероз, є особливо чутливими до підвищеної вологості, оскільки більшість серцево-судинних захворювань загострюється при вологості 80 – 95 %.

У деяких людей дощова погода може навіть відобразитися на зовнішності – обличчя стає блідим через порушення кровообігу.

Якщо температура повітря перевищує 25 °С, підвищена вологість може призвести до перегріву організму, адже ускладнюється випаровування води із шкіри, а відповідно зменшується ефективність тепловіддачі. Внаслідок цього тіло не може достатньо охолоджуватися.

Навіть при відсутності активного потовиділення (при 15 – 20 °С) людина втрачає через шкіру до 0,4 – 0,6 л води на добу, а разом із повітрям, яке вдихає: 0,3 – 0,4 л. Це може викликати відчуття духоти, тяжкості, зниження працездатності та загальне погіршення самопочуття.

Оптимальна відносна вологість повітря для людського організму становить 30 – 60 % і залежить від температури середовища. При температурі 16 – 20 °С, коли людина перебуває у стані спокою, комфортним рівнем вологості вважається 40 – 50 %. Якщо температура перевищує 20 °С або знижується нижче 15 °С, а також при фізичних навантаженнях, вологість не повинна перевищувати 30 – 40%.

Тривале перебування в умовах високої вологості та температурних перепадів збільшує ризик простудних, інфекційних захворювань, а також

сприяє розвитку ревматизму, туберкульозу та хвороб нирок. Сире повітря є несприятливим як при високій, так і при низькій температурі, особливо для людей, що живуть у помірному та середземноморському кліматі.

Навпаки, сухе повітря може бути некомфортним для людей, звиклих до екваторіальних регіонів, оскільки сприяє зневодненню організму та сухості шкіри. При низькому рівні вологості спека переноситься легше, оскільки випаровування вологи відбувається швидше. Однак при вологості нижче 10 % можуть виникнути неприємні відчуття сухості у горлі, роті та носі. Через це не слід недооцінювати вплив сухого повітря, оскільки інколи воно може бути навіть більш шкідливим, ніж вологе.

Щоб зменшити негативний вплив високої вологості, використовують осушувачі повітря, а для боротьби із сухістю повітря застосовують зволожувачі.

Комфортне самопочуття людини залежить як від температури навколишнього середовища, так і від відносної вологості повітря. Людина може сприймати однакові теплові відчуття навіть при різних значеннях цих параметрів.

Розуміння допустимих меж температури та вологості допомагає створювати сприятливі умови для перебування людини. Клімат можна вважати комфортним, якщо людина не відчуває ні холоду, ні перегріву.

Організм відчувається комфортно, коли обсяг тепла, що відводиться, дорівнює кількості виробленого тепла. Тобто комфортне відчуття людини – це баланс між теплогенерацією та тепловими втратами в навколишнє середовище.

Як результат, внутрішня температура тіла людини зазвичай становить 36,6–36,8 °С, а температура шкіри – у середньому 33 °С, залежно від кліматичних умов (див. рисунок 1.7).

Людина адаптується до змін навколишнього середовища завдяки механізму автоматичної терморегуляції. Однак цей механізм ефективний лише при незначних відхиленнях параметрів середовища від норми. Якщо

температура та вологість значно виходять за межі комфортних умов, можуть виникнути порушення таких фізіологічних процесів як: терморегуляція, обмін речовин, функціонування нервової системи, робота серцево-судинної системи, підвищення температури тіла у разі перегріву, зниження працездатності, підвищена дратівливість.

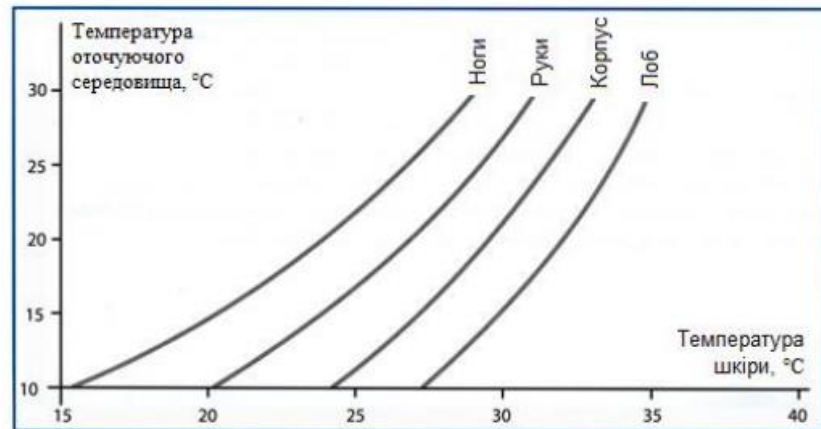


Рисунок 1.7 – Залежність температури шкіри від температури навколишнього середовища

На рисунку 1.8 представлено взаємозв'язок між продуктивністю праці та температурою навколишнього середовища. Видно, що при перевищенні 26°C спостерігається різке зниження рівня працездатності.

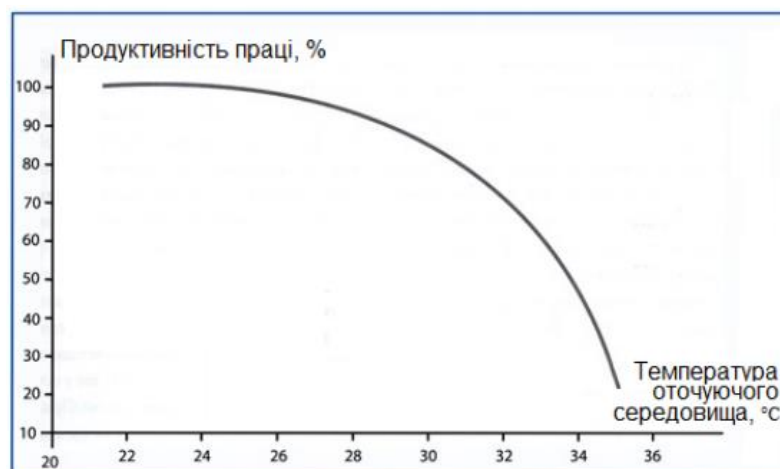


Рисунок 1.8 – Залежність продуктивності праці від температури навколишнього середовища

Як бачимо, оптимальна вологість повітря для людини у стані спокою складає 40 – 50 %, а під час фізичної активності вона має бути в межах 30 – 40 %.

Головним завданням контролю мікроклімату є створення комфортних умов, що забезпечують сприятливе самопочуття людини.

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ

Системи світла, що сприяють покращенню фізичного й емоційного стану людини, створені для забезпечення здоров'я і підвищення ефективності виконання робочих завдань. Для цього використовується спеціальне світло біологічної дії. Інноваційні освітлювальні пристрої можуть значно впливати на загальне самопочуття людей.

Human Centric Lighting (HCL) – передова технологія в сфері освітлення, яка забезпечує оптимальне і безпечне для організму освітлення. Вплив таких систем позитивно позначається на циркадних ритмах людини, дозволяючи грамотно розподіляти енергетичні ресурси протягом дня. Останнім часом ця технологія набуває популярності, адже вона компенсує нестачу природного сонячного світла.

HCL – це сучасне рішення, яке відтворює природний ритм денного світла. Завдяки освітленню, що максимально повторює сонячне світло, можна покращити циркадний ритм людини. Технологія біологічно й емоційно ефективного освітлення має широкі перспективи в різних сферах – від офісів до промислових підприємств, позитивно впливаючи на працездатність і самопочуття людей.

HCL довело свою ефективність у реабілітаційних закладах, де пацієнти можуть тривалий час перебувати в умовах обмеженого доступу до природного світла. Біодинамічне освітлення є перспективним напрямком у медичній сфері, оскільки воно сприяє комфорту та пришвидшенню процесу одужання. У приміщеннях без вікон це освітлення дозволяє зберігати природні біологічні ритми, позитивно впливаючи на фізичний і емоційний стан пацієнтів.

HCL використовує дві незалежні групи світло діодів: теплого та холодного кольору, які призначені для керування відтінком світла. Завдяки заданому алгоритму, ці групи працюють автономно, створюючи світло з

різною колірною температурою, яке об'єднується, формуючи потрібний спектр на виході.

Для впровадження HCL-систем необхідно:

- контролер, який реалізує алгоритм освітлення, враховуючи час доби, дату та географічну локацію;
- інтерфейс, що забезпечує передачу інформації про параметри освітлення від контролера до регулятора освітлення;
- двоканальний регулятор освітлення, зазвичай ШІМ-регулятор, що регулює яскравість теплого і холодного світла;
- джерело світла, яке зазвичай представлене світлодіодними стрічками з двома температурними кольорами.

Ця інноваційна система відкриває нові можливості для створення комфортного та ефективного освітлення.

Алгоритми управління такими системами здебільшого базуються на географічному положенні. Контролери можуть мати вбудовані GPS-датчики, які визначають своє місцезнаходження та передають цю інформацію до центрального процесора. Інший варіант – користувач самостійно вводить дані про своє місце розташування. На основі цих даних система змінює параметри освітлення відповідно до закону, що враховує час сходу і заходу сонця в заданій місцевості.

Важливо зазначити, що такі системи не копіюють освітленість зовнішнього середовища, а забезпечують колірну температуру, трохи вищу за фактичну. Це сприяє підвищенню активності вранці, коли сонце ще не піднялося повністю, за рахунок впливу більш холодного світла.

Складніші алгоритми також враховують погодні умови. Такі системи можуть мати власні датчики, що збирають інформацію про навколишнє середовище, або підключатися до Інтернету, отримуючи погодні дані з онлайн-ресурсів. Це дозволяє забезпечити ще точніше й адаптивніше освітлення, яке враховує всі зовнішні фактори.

## 2.1 Контролери ULC

Контролер ULC-R21-RGB розроблений для управління RGB світлодіодними стрічками або трьома джерелами світла, такими як жовте, біле та синє (див. рисунок 2.1(а)).

Контролер ULC-R22-DIM відповідає за регулювання світлового потоку одного джерела. Це стандартний ШІМ-драйвер, який використовується зі світлодіодними стрічками (див. рисунок 2.1(б)).

Контролер ULC-R23-CTB застосовується для налаштування колірної температури освітлення, заснованого на світлодіодах теплого та холодного світла. Він підключається до двох окремих джерел холодного та теплого відтінків або до однієї світлодіодної стрічки з двома типами кристалів (див. рисунок 2.1(в)).



Рисунок 2.1 – Контролери ULC: а) – ULC-R21-RGB, б) – ULC-R22-DIM, в) – ULC-R23-CTB

Основні характеристики контролера:

- ШІМ з частотою 1,5 кГц;
- вхідна напруга: 12/24 В;
- максимальна потужність на кожен канал: 6 Вт;
- граничний струм: 18 А;
- робоча частота радіосигналу: 433,92 МГц;
- дальність дії пульту: до 20 метрів;

- чутливість приймального пристрою: 105 дБм.

## 2.2 Контролер SunLync

Блок керування SunLync (див. рисунок 2.2) виробництва американської компанії Health оснащений вбудованим GPS-датчиком. Він також дозволяє обирати один із п'яти попередньо встановлених режимів, які налаштовуються залежно від психофізіологічних потреб і типу діяльності користувача. У пристрої вже записані алгоритми, такі як: режим сну, відпочинку, роботи, обіду тощо. Це звільняє користувача від необхідності самостійно вибирати колірну температуру і враховувати умови навколишнього середовища.



Рисунок 2.2 – Контролер SunLync

## 2.3 Контролер Arlight DALI-TIMER-DIN

Сучасний цифровий інтерфейс DALI ефективно передає необхідну інформацію для біодинамічного освітлення. Контролер DALI-TIMER-DIN (див. рисунок 2.3) здатний управляти об'єктами за допомогою програми, що включає 16 часових точок. Для кожного з цих інтервалів можна встановлювати індивідуальні рівні освітленості двох каналів.



Рисунок 2.3 – Контролер Arlight DALI-TIMER-DIN

Особливістю цього контролера є наявність внутрішнього резервного джерела живлення, яке зберігає останні налаштування навіть при відключенні електроенергії. Додатковою перевагою є можливість перепрограмування через USB-інтерфейс, що дозволяє легко налаштовувати пристрій за допомогою сучасного ноутбука.

#### 2.4 Контролер TUYA

Платформа TUYA (див. рисунок 2.4) базується на хмарному сервісі, а управління нею здійснюється через мобільний додаток. Контролер реалізує функцію біодинамічного освітлення віртуально, дозволяючи змінювати колірну температуру та яскравість відповідно до часу доби. Для цього можна створити програму, яка автоматично регулюватиме ці параметри.



Рисунок 2.4 – Контролер TUYA

Інтерфейс додатку Intelligent Arlight відзначається зручністю, що значно спрощує налаштування освітлення. Використання платформи TUYA для біодинамічного освітлення має перевагу в можливості програмувати більш складні алгоритми, ніж це доступно для недорогих контролерів DALI.

## 2.5 Контролер RoomSet

Контролер RoomSet компанії виробника Helvar та його програмне забезпечення розроблено для швидкого та зручного налаштування освітлення в однотипних приміщеннях, таких як офіси та навчальні аудиторії. Центральний датчик, який є основним компонентом системи, забезпечує значну економію електроенергії (див. рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Контролер RoomSet

Основні переваги контролера RoomSet:

- легкість встановлення завдяки автоматизованим налаштуванням керування;
- зручне керування та конфігурація через планшет за допомогою спеціального застосунку з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом;

- економічність і масштабованість: швидке налаштування однотипних приміщень, включаючи функцію копіювання налаштувань;
- сумісність з освітлювальними пристроями DALI;
- можливість бездротового оновлення програмного забезпечення.

## 2.6 Контролер ILLUSTRIS

Контролер ILLUSTRIS є ще одним представником контролерів компанії виробника Helvar – це інноваційний користувацький інтерфейс, який пропонує розширені можливості керування освітленням (див. рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Контролер ILLUSTRIS

В контролері ILLUSTRIS застосовуються знайомі користувачам та інтуїтивно зрозумілі сенсорні кнопки. Завдяки Bluetooth його також можна використовувати на смартфонах і планшетах через додаток SceneSet. Інтерфейс ILLUSTRIS сумісний зі стандартними функціями DALI, а також може бути інтегрований у систему управління Helvar для більш широкого застосування. Цей пристрій ідеально підходить для управління освітленням в офісах, медичних закладах та інших громадських місцях, де необхідне сучасне високотехнологічне освітлення, що забезпечує комфортну та приємну атмосферу.

## 2.7 Контролер ActiveAhead

ActiveAhead – це інноваційна бездротова система керування освітленням нового покоління, що має здатність до самонавчання (див. рисунок. 2.7). Система ActiveAhead не потребує попереднього налаштування, оскільки автоматично вибирає оптимальний режим роботи та щоденно адаптується відповідно до змін навколишнього середовища. Джерела світла в цій системі взаємодіють між собою, обмінюючись даними. Завдяки цьому освітлення передбачає поведінку людини, сприяє економії електроенергії та створює комфортну атмосферу.



Рисунок 2.7 – Контролер ActiveAhead

Переваги контролера ActiveAhead:

- прогнозування освітлення: система аналізує маршрути руху в приміщеннях і на їх основі регулює роботу освітлювальних приладів;
- легкість установки: для початку використання достатньо встановити елемент у потрібному місці та увімкнути живлення;
- інтелектуальне енергозбереження: зменшує яскравість освітлення залежно від фактичного використання простору;
- підвищення комфорту: активне навчання пристрою починається з моменту увімкнення (протягом кількох днів система адаптується до типових маршрутів і використання простору).

## 3 РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ

### 3.1 Необхідні вимоги до пристрою

Виходячи з наведених даних у попередніх розділах даної дипломної роботи, можна визначити основні характеристики, яким повинен відповідати розроблюваний нами пристрій, що має удосконалити систему автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення. Зважаючи на те, що інтенсивність світла істотно впливає на стан людини, у роботі слід передбачити можливість гнучкого регулювання цього параметра в межах від 20 % до 100 %. Крім того, варто врахувати, що одна і та сама яскравість світлодіодних ламп сприймається по-різному залежно від об'єму приміщення. Тому цей параметр обов'язково має бути змінним, із забезпеченням простого та зручного механізму для його налаштування.

Другим важливим параметром є колірна температура, яка безпосередньо впливає на синтез таких гормонів, як мелатонін та кортизол. Це означає, що стан людини значною мірою залежить від температури світла. Оптимальним діапазоном для колірної температури вважається від 1500 до 9000 К, оскільки вихід за ці межі не лише рідко трапляється в природі, але й може негативно впливати на організм. Цей параметр також необхідно зробити регульованим, щоб забезпечити різні впливи на самопочуття залежно від ситуації.

Також необхідно реалізувати функцію калібрування спектру світлодіодних джерел на програмному рівні, адже навіть найякісніші світлодіодні стрічки можуть мати спектральні відхилення. Для забезпечення правильної температури світла обов'язково потрібно передбачити можливість коригування цього параметра, що дозволить створити оптимальне освітлення відповідно до заданих характеристик.

Ще одним важливим аспектом є наявність готових режимів, попередньо записаних у програму. Такий підхід значно спрощує

використання пристрою, дозволяючи регулювати колірну температуру та яскравість світла всього кількома натисканнями кнопки. Доцільно передбачити декілька незмінних режимів, а також додати можливість створення користувачем власних конфігурацій. Це забезпечить зручність у використанні як для людей, які мало знайомі з впливом освітлення на самопочуття, так і для тих, хто має відповідні знання і досвід. Таким чином, пристрій зможе бути легко налаштований відповідно до індивідуальних потреб користувачів.

Автоматична зміна колірної температури протягом доби – це функція, яка реалізована у багатьох сучасних контролерах. Вона сприяє адаптації людини до природних біоритмів, забезпечуючи більше комфорту у порівнянні зі статичною температурою світла протягом всього дня. Дія функції базується на використанні годинника реального часу, який дозволяє розраховувати оптимальне значення колірної температури для кожного проміжку часу. Це забезпечує динамічне освітлення, що відповідає природним умовам і впливає позитивно на самопочуття людини.

Важливим аспектом є реалізація функції автоматичного увімкнення та вимкнення режимів освітлення в задані часові інтервали. Це стане корисним для застосування в школах, офісах та на підприємствах. Пристрій може бути запрограмований таким чином, щоб освітлення з необхідними параметрами активувалося щодня у визначений час, коли люди приходять на роботу чи навчання. Увечері, після закінчення роботи, система сама вимикає світло. Крім того, можна налаштувати різні режими для першої та другої половини дня. Така автоматизація значно спрощує процес управління та забезпечує ефективність використання пристрою.

Температура та вологість повітря значно впливають на стан організму людини, і за певних умов їхній вплив може бути навіть сильнішим, ніж вплив освітлення. З огляду на це, важливо забезпечити належне керування цими параметрами.

Для реалізації контролю мікроклімату пристрій має підтримувати задані значення температури та вологості повітря. Це можливо завдяки наявності датчиків, які отримують дані про умови в приміщенні, а також виконуючих компонентів, таких як обігрівачі та зволожувачі. Останні повинні автоматично включатися або вимикатися залежно від отриманих показників, що дозволить створити комфортне середовище для людини.

Температура повинна регулюватися в діапазоні від 15 до 35 °C. Для попередньо запрограмованих режимів, які не передбачають зміну параметрів, необхідно зафіксувати такі значення температури, які відповідають концепції відповідного режиму. У режимах, що налаштовуються користувачем, параметр температури повинен бути змінним у межах заданого діапазону.

Що стосується вологості, її показники також слід обмежити в межах від 30 до 80 %. У фіксованих режимах варто задати оптимальні рівні вологості, які відповідатимуть обраному сценарію використання. Для користувацьких режимів параметр вологості повинен регулюватися в межах визначеного діапазону, забезпечуючи необхідну гнучкість.

У підсумку, розроблюваний нами пристрій, що має удосконалити систему автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення повинен володіти такими характеристиками:

- регулювання яскравості: в межах від 20 % до 100 %;
- регулювання колірної температури: від 1500 K до 9000 K;
- калібрування світлодіодних стрічок: на програмному рівні для точного налаштування спектру;
- наявність перед встановлених режимів: для спрощення користування;
- автоматична зміна колірної температури: протягом доби для підтримання природних біоритмів;
- автоматичне увімкнення та вимкнення режимів: базуючись на годиннику реального часу;
- підтримка температури повітря: у межах від 15 °C до 35 °C;

- контроль вологості повітря: у діапазоні від 30 % до 80 %.

Концепція передбачає створення вбудованого пристрою, який може бути встановлений у різних середовищах, таких як офіси, школи, підприємства, а також приватні будинки чи квартири. Цей пристрій буде компактним, у формі невеликої коробки, що міститиме всі необхідні компоненти для його повноцінного функціонування. Для підвищення зручності користування передбачено рідкокристалічний дисплей, який відображатиме актуальну інформацію для користувача.

Керування пристроєм передбачає два основні способи: за допомогою кнопок або через смартфон, використовуючи Bluetooth. Перший спосіб дозволяє налаштовувати базові функції, такі як вибір режиму, регулювання яскравості освітлення та вмикання або вимикання пристрою. Смартфон надає можливість повного налаштування параметрів відповідно до індивідуальних потреб користувача. Таким чином, саме через додаток можна змінювати режими користувача, задавати бажані параметри температури повітря, вологості, яскравості світла та колірної температури.

Для забезпечення орієнтування в часі та автоматизації роботи пристрою буде інтегровано годинник реального часу. На його основі пристрій виконуватиме увімкнення та вимкнення режимів відповідно до встановленого алгоритму. Це рішення дозволить оптимізувати використання пристрою, забезпечивши його роботу відповідно до заданих часових інтервалів.

Отже, будова розроблюваного нами пристрою, який має удосконалити систему автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення включатиме такі елементи:

- мікроконтролер, який забезпечує роботу прописаних алгоритмів та підтримує бездротове керування через Bluetooth або Wi-Fi;
- датчики та виконавчі елементи, необхідні для виконання основних функцій пристрою;

- годинник реального часу, що дозволяє автоматизувати виконання завдань за розкладом;
- рідкокристалічний дисплей, який виводить актуальну інформацію для користувача;
- кнопки для керування, що забезпечують просте та зручне управління програмою.

### 3.2 Структурна схема пристрою та її основні складові

Відповідно до поставлених вимог до алгоритмів і функціонування, було створено структурну схему пристрою (див. рисунок 3.1). Вона чітко ілюструє основні компоненти пристрою та їх взаємозв'язки. Структура може бути адаптована залежно від необхідного функціоналу, що забезпечує гнучкість у її застосуванні.

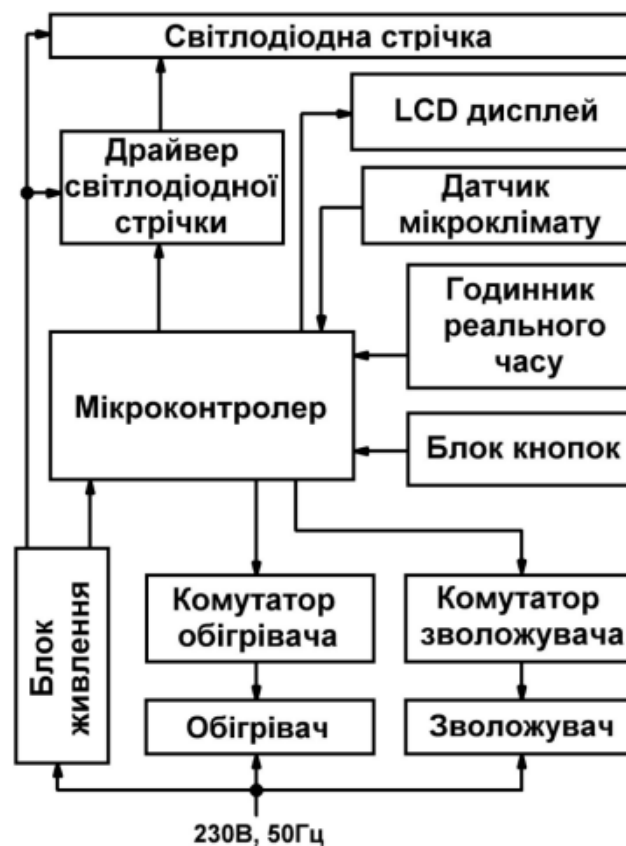


Рисунок 3.1 – Структурна схема пристрою

Мікроконтролер є ключовим елементом розроблюваного нами пристрою для удосконалення системи автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення. Він містить прошивку і дані для функціонування системи, забезпечуючи обробку сигналів від датчиків і кнопок. На основі отриманих даних мікроконтролер виконує обчислення і керує периферійними компонентами, такими як драйвер світлодіодної стрічки, комутатори та LCD дисплей. Окрім цього, мікроконтролер відповідає за встановлення бездротового з'єднання з мобільними пристроями через Bluetooth і Wi-Fi, що забезпечує зручність в управлінні та налаштуванні.

Блок живлення є ключовим компонентом схеми, що виконує перетворення мережевої напруги у необхідні рівні: 12 В для живлення світлодіодної стрічки та 5/3,3 В для забезпечення роботи мікроконтролера і периферії. Цей елемент повинен відповідати високим вимогам надійності та стабільності вихідних напруг. У реальній схемі блок живлення може бути представлений кількома різними пристроями, кожен з яких налаштований на конкретну вихідну напругу для оптимальної роботи всіх компонентів.

Світлодіодна стрічка є основним джерелом освітлення в системі. Можливе використання як RGB, так і двоколірних стрічок. До цього елементу висуваються високі вимоги: він має бути надійним, забезпечувати якісне освітлення та точну передачу кольорів. Для зменшення втрат напруги рекомендується застосовувати 24 В стрічку з відповідним блоком живлення. Оскільки напруга 12/24 В використовується лише для керування стрічкою, її можна змінювати без необхідності внесення змін до схеми пристрою.

Драйвер світлодіодної стрічки є важливим компонентом, що відповідає за керування кожним каналом світлодіодної стрічки, незалежно від типу – RGB чи двоколірна. Він може бути виконаний у вигляді кількох транзисторів для кожного каналу стрічки. Слабкий сигнал, поданий мікроконтролером, активує транзистор, який, у свою чергу, передає потужний сигнал на стрічку.

Комутатор обігрівача – це силовий елемент схеми, який забезпечує управління нагрівачем, що працює від мережі з напругою 230 В. Він має бути розрахований на відповідне навантаження. Для цього можуть використовуватися електромагнітні реле або симістори з додатковою обв'язкою, залежно від конструктивних вимог системи.

Комутатор зволожувача – силовий компонент схеми, призначений для управління зволожувачем, що живиться від мережі 230 В. Він повинен бути розрахований на таку напругу. У конструкції можуть застосовуватися електромагнітні реле або симістори із додатковою обв'язкою для ефективного керування.

Обігрівач – промисловий пристрій із живленням від мережі 230 В. Його слід вибирати за потужністю так, щоб забезпечити достатнє теплове покриття приміщення. Завдяки універсальності системи управління можна використовувати також побутові обігрівачі, адаптуючи їх до потреб приміщення.

Промисловий зволожувач повітря, що живиться від мережі 230 В, підбирається на основі його продуктивності, тобто кількості пари, яку він здатний виробляти за одиницю часу, а також залежно від розмірів приміщення, де буде використовуватися. Завдяки універсальності системи керування, можливе застосування побутових зволожувачів повітря для потреб простору.

Датчик мікроклімату – модуль, оснащений чутливими елементами, який визначає температуру і вологість навколишнього середовища, використовуючи відповідні алгоритми. Отримані дані передаються мікроконтролеру, який на їх основі керує периферійними пристроями для підтримання оптимального мікроклімату.

Модуль годинника реального часу оснащений джерелом живлення, яке дозволяє зберігати дані після відключення основного живлення. Він має календар, список днів тижня та алгоритми для відліку часу. По суті, це

пристрій, що зберігає інформацію про поточну дату, час і день тижня, забезпечуючи орієнтацію мікроконтролера у часі.

LCD-дисплей використовується для відображення інформації, корисної для користувача. На ньому виводяться дані про стан системи, обраний режим, рівень яскравості тощо. Хоча керування системою можливе через смартфон, дисплей забезпечує зручний візуальний доступ до параметрів.

Панель кнопок складається з ряду кнопок і служить для швидкого налаштування основних параметрів, таких як вибір режиму, яскравість або колірна температура. Хоча ці функції також доступні через смартфон, панель кнопок дозволяє оперативно змінювати ключові параметри без зайвих кроків.

### 3.3 Вибір елементної бази

#### 3.3.1 Мікроконтролер

Існує декілька варіантів побудови керуючої системи:

- поєднання простого мікроконтролера (наприклад ATmega8/328) з модулем Bluetooth (HC-05), що забезпечує базову функціональність бездротового зв'язку;
- застосування спеціалізованого мікроконтролера з інтегрованою підтримкою Wi-Fi (наприклад ESP8266), для розширення можливостей керування через мережу;
- використання спеціалізованого мікроконтролера з підтримкою Wi-Fi та Bluetooth (наприклад ESP32), для забезпечення універсальності та широких можливостей бездротового управління.

Перший варіант є досить простим у реалізації, але має вагомі недоліки. По-перше, обмежена вбудована пам'ять ATmega8/328 (32 кБ) не дозволяє повноцінно реалізувати всі функції пристрою. По-друге, з економічної точки зору, нераціонально окремо купувати і мікроконтролер, і модуль Bluetooth, який сам по собі вже є мікроконтролером з додатковою обв'язкою. Хоча

першу проблему можна вирішити, перейшовши на більш потужні процесори, наприклад, STM32, другий недолік, пов'язаний з вартістю, залишається невирішеним.

Другий підхід передбачає застосування ESP8266 (див. рисунок 3.2 та рисунок 3.3), який дозволяє налаштувати підключення до серверу та здійснювати управління за допомогою смартфона. Обсяг пам'яті цього мікроконтролера становить 4 МБ, що значно перевищує можливості ATmega8/328, а його частота роботи є набагато вищою. Крім того, ESP8266 є доступним за ціною, оскільки широко використовується у пристроях із виходом в інтернет.



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд мікроконтролеру ESP8266

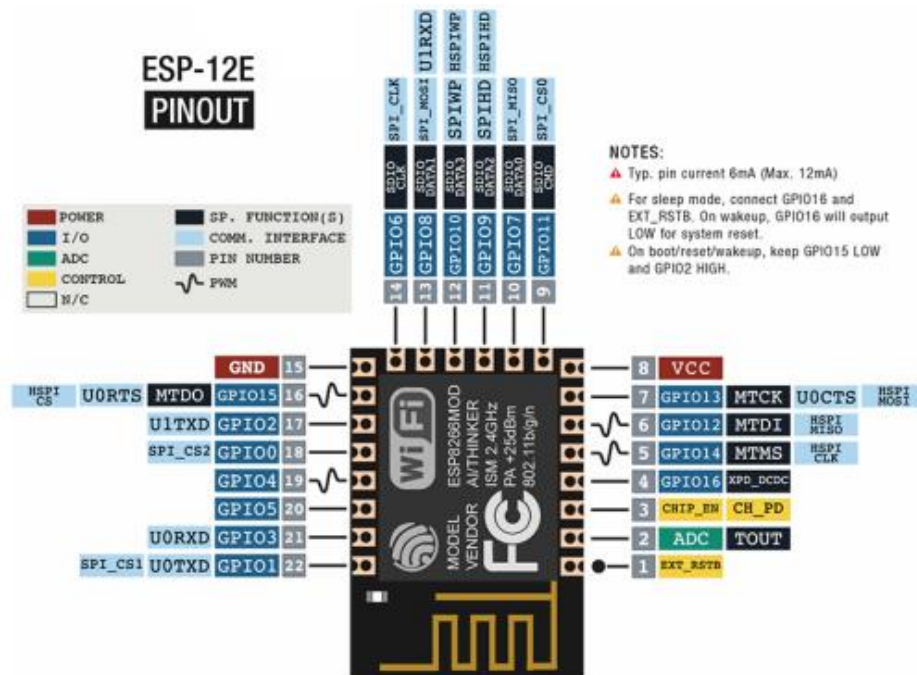


Рисунок 3.3 – Розпіновка мікроконтролеру ESP8266

Третій підхід передбачає застосування мікроконтролера ESP32 (див. рисунок 3.4 та рисунок 3.5).



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд мікроконтролера ESP32

ESP32 є значно потужнішим контролером у порівнянні з ESP8266, при цьому його вартість лише трохи вища. Цей контролер наділений численними корисними функціями, включаючи кілька каналів інтерфейсів для взаємодії з периферійними пристроями. Крім того, він підтримує Wi-Fi, що дозволяє створювати сервери, виходити в Інтернет і встановлювати з'єднання зі смартфонами.

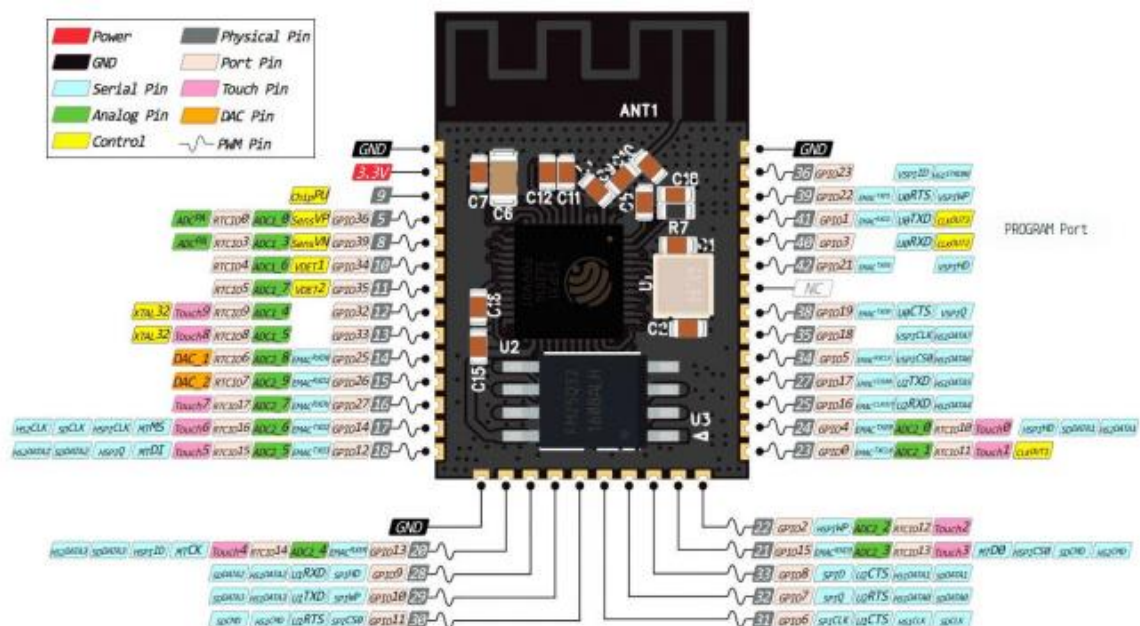


Рисунок 3.5 – Розпіновка мікроконтролера ESP32

Основною перевагою мікроконтролеру ESP32 порівняно з ESP8266 є його підтримка Bluetooth. Завдяки цій технології розробка програмного забезпечення та алгоритмів роботи пристрою стає значно простішою. Немає потреби створювати веб-додаток або налаштовувати сервер – достатньо лише під'єднатися через Bluetooth зі смартфона, і вже можна взаємодіяти з пристроєм.

Для прийняття остаточного рішення порівняємо характеристики ESP8266 та ESP32. У таблиці 3.1 наведені технічні параметри для ESP8266, а в таблиці 3.2 – для ESP32. Цей аналіз допоможе визначити, який контролер краще підходить для нашої поставленої задачі.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики мікроконтролера ESP8266

| КАТЕГОРІЇ                               | ПАРАМЕТРИ                   | ЗНАЧЕННЯ                                                                        |
|-----------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Стандарти бездротового зв'язку          | Протоколи                   | Wi-Fi: 802.11 b / g / N                                                         |
| Характеристики апаратної частини        | Периферійні шини            | UART/HSPI/I2C/I2S/інфрачервоний інтерфейс віддаленого керування                 |
|                                         | Робоча напруга              | 3,0 – 3,6 В                                                                     |
|                                         | Робочий струм               | близько 80 мА                                                                   |
|                                         | Діапазон робочих температур | -40 – 125 °C                                                                    |
|                                         | Розміри                     | 16мм x 24мм x 3мм                                                               |
|                                         | Флеш-пам'ять                | до 16 МБ максимум (зазвичай 512 КБ)                                             |
|                                         | Процесор                    | Tensilica L106, 32 бита                                                         |
|                                         | Частота роботи процесора    | 80...160 МГц                                                                    |
|                                         | ОЗП                         | 32 кБ + 80 кБ                                                                   |
|                                         | GPIO                        | 17 шт.                                                                          |
| Характеристики програмного забезпечення | Wi-Fi режим                 | Станція, програмна точка доступу, програмна точка доступу + станція             |
|                                         | Безпека                     | WPA/WPA2                                                                        |
|                                         | Шифрування                  | WEP/TKIP/AES                                                                    |
|                                         | Оновлення прошивки          | Завантаження через UART / OTA (через мережу) / завантаження прошивки через хост |
|                                         | Розробка ПЗ                 | підтримка Cloud Server Development / SDK для розробки прошивок користувача      |
|                                         | Мережеві протоколи          | IPv4, TCP/UDP/HTTP/FTP                                                          |
|                                         | Налаштування користувача    | Набір AT команд, Cloud Server, застосунок Android/iOS                           |

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики мікроконтролера ESP32

| КАТЕГОРІЇ                               | ПАРАМЕТРИ                   | ЗНАЧЕННЯ                                                                        |
|-----------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Стандарти бездротового зв'язку          | Протоколи                   | Wi-Fi: 802.11 b / g / N, Bluetooth: v4.2 BR/EDR та BLE                          |
| Характеристики апаратної частини        | Периферійні шини            | 3xUART/3xSPI/2xI2C/I2S/датчики температури, Холла, тач-сенсори                  |
|                                         | Робоча напруга              | 3,0 – 3,6 В                                                                     |
|                                         | Робочий струм               | близько 250 мА                                                                  |
|                                         | Діапазон робочих температур | -40 – 125 °С                                                                    |
|                                         | Розміри                     | 16мм x 24мм x 3мм                                                               |
|                                         | Флеш-пам'ять                | до 16 МБ максимум (зазвичай 4 МБ)                                               |
|                                         | Процесор                    | Tensilica Xtensa LX6, 32 бита                                                   |
|                                         | Частота роботи процесора    | 160...240 МГц                                                                   |
|                                         | ОЗП                         | 520 кБ                                                                          |
|                                         | GPIO                        | 25 шт.                                                                          |
| Характеристики програмного забезпечення | Wi-Fi режим                 | Станція, програмна точка доступу, програмна точка доступу + станція             |
|                                         | Безпека                     | WFA, WPA/WPA2 та WAPI                                                           |
|                                         | Шифрування                  | WEP/TKIP/AES                                                                    |
|                                         | Оновлення прошивки          | Завантаження через UART / OTA (через мережу) / завантаження прошивки через хост |
|                                         | Розробка ПЗ                 | підтримка Cloud Server Development / SDK для розробки прошивок користувача      |
|                                         | Мережеві протоколи          | IPv4, TCP/UDP/HTTP/FTP                                                          |
|                                         | Налаштування користувача    | Набір AT команд, Cloud Server, застосунок Android/iOS                           |

На основі аналізу таблиці 3.1. та таблиці 3.2, можна зробити висновок, що найкращим варіантом є використання ESP32, оскільки:

- ESP32 має більше пінів вводу-виводу, що забезпечує можливість підключення всієї необхідної периферії, тоді як ESP8266 не має достатньої кількості;
- частота роботи процесора ESP32 вища, що дозволяє програмам виконуватись швидше;
- обсяг пам'яті ESP32 значно більший, що важливо для збереження масивів кольорів та інших даних, які можуть перевищити можливості ESP8266;

- підтримка Bluetooth у ESP32 значно спрощує процес розробки програмного забезпечення, оскільки немає потреби створювати веб-додатки чи налаштовувати сервери – досить лише встановити Bluetooth-з'єднання для взаємодії зі смартфоном.

З огляду на вищезазначене, для реалізації поставленої мети та завдання даної дипломної роботи оберемо мікроконтролер ESP32. Для спрощення процесу прототипування будемо використовувати макетну плату ESP32 DEVKIT V1 (див. рисунок 3.6). Цей вибір забезпечує необхідну функціональність та полегшує розробку пристрою.



Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд платформи ESP32 DEVKIT V1

### 3.3.2 Світлодіодна стрічка

Можливі два варіанти стрічок, які можна застосувати в нашому випадку. Перший - RGB світлодіодна стрічка. Другий – двоколірна стрічка.

RGB світлодіодна стрічка являє собою розташовані на одній підкладці кристали трьох базових кольорів: червоного, зеленого і синього. Завдяки їх комбінації у різних пропорціях можна отримати будь-який бажаний відтінок (див. рисунок 3.7). Такі світлодіодні стрічки вирізняються простотою у застосуванні, вони не потребують особливих вимог до напруги живлення,

мають вбудовані струмобмежувальні резистори, а також оснащені клейкою основою, що дозволяє легко закріплювати їх на поверхні.

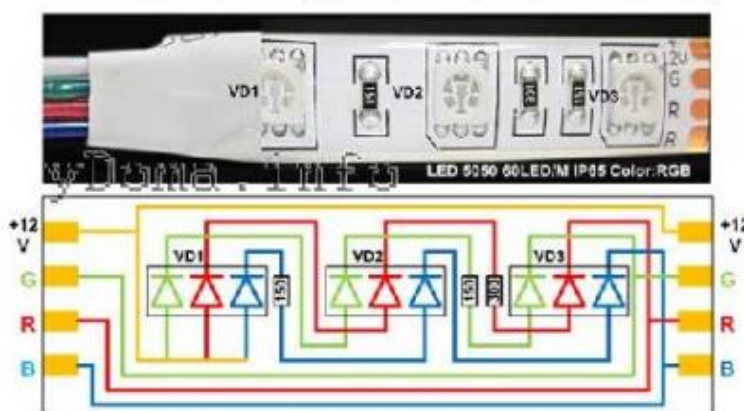


Рисунок 3.7 – Будова RGB світлодіодної стрічки

RGB світлодіодна стрічка дозволяє змінювати температуру освітлення шляхом вибору певного кольору. Проте є кілька нюансів. По-перше, при одночасному увімкненні трьох базових кольорів (червоного, зеленого та синього) отриманий колір часто зміщується в одну зі спектральних областей, наприклад, може мати червоний, синій або зелений відтінок. Це пов'язано з тим, що світлодіоди можуть відрізнятися за інтенсивністю світла і яскравістю. Щоб забезпечити точну передачу кольору, необхідно попередньо провести калібрування пристрою. Це дозволить встановити початкові значення для вирівнювання інтенсивності світла всіх кольорів і досягти бажаних параметрів освітлення.

Інший тип світлодіодних стрічок – це двоколірні стрічки, які мають унікальну характеристику: на одній підкладці розташовані два світлодіоди з різною колірною температурою. Таким чином, на одній основі поєднуються як світлодіоди теплого, так і холодного світла (див. рисунок 3.8).

Регулюючи яскравість кожного світлодіода окремо, можна створювати практично будь-яку колірну температуру в заданих межах, відповідно до характеристик світлодіодів. Це дозволяє адаптувати освітлення під конкретні потреби або умови використання.



Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд двоколірної світлодіодної стрічки

Цей варіант виглядає дещо кращим, адже світлодіоди вже відкалібровані на заводі, що усуває необхідність ручного калібрування. Це значно спрощує як процес розробки пристрою, так і систему його керування. Однак, такі світлодіодні стрічки є значно дорожчими та не дозволяють задавати будь-який колір.

Зважаючи на те, що пристрій для удосконалення системи освітлення та мікроклімату побутового приміщення може застосовуватися не лише в офісах і школах, а й у квартирах, можливість встановлення різних кольорів, таких як зелений, синій, помаранчевий, жовтий чи фіолетовий, є досить цікавою. Таке освітлення можна використовувати як нічний режим або для додаткового підсвічування під час фотографування. Тож у нашому випадку зупинимо свій вибір на RGB світлодіодній стрічці з потужністю 18 Вт/м у кожному із каналів.

### 3.3.3 Драйвер світлодіодної стрічки

Оскільки світлодіодна стрічка працюватиме з високочастотним ШІМ-сигналом, драйвер має бути спеціально адаптований до таких параметрів.

Управління стрічкою здійснюватиметься за допомогою MOSFET-транзисторів (див. рисунок 3.9). Це польові транзистори з ізольованим

затвором, які мають низький опір у відкритому стані, що мінімізує теплові втрати. Завдяки цим характеристикам MOSFET-транзистори широко застосовуються в силовій електроніці для управління постійною напругою.

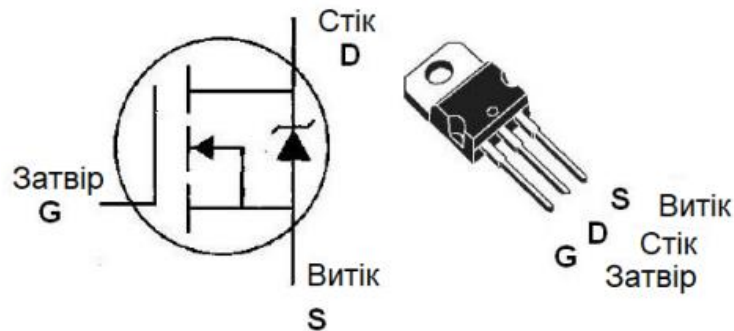


Рисунок 3.9 – Схематичне зображення та зовнішній вигляд MOSFET-транзистору

MOSFET-транзистори вибираються на основі параметрів навантаження, включаючи напругу та силу струму, керуючу напругу на затворі та внутрішній опір каналу.

Для нашого випадку:

- напруга навантаження (стік-витік): 12/24 В;
- світлодіодна стрічка: потужність 18 Вт/м для кожного каналу;
- довжина стрічки: 5 м;
- частота ШІМ-сигналу: 5 кГц;
- напруга керування транзистором: 3,3 В.

Отже, спочатку визначимо силу струму ( $I$ , А) світлодіодної стрічки. Її можна визначити через рівняння потужності:

$$P = I \cdot U, \quad (3.1)$$

де:

$P$  – загальна потужність світлодіодної стрічки, Вт;

$U$  – напруга навантаження (стік-витік), В;

$I$  – сила струму світлодіодної стрічки, А.

Тоді із виразу 3.1 матимемо, що:

$$I = \frac{P}{U} . \quad (3.2)$$

Визначимо загальну потужність світлодіодної стрічки:

$$P = P_k \cdot l , \quad (3.3)$$

де:

$P_k$  – потужність світлодіодної стрічки для кожного каналу, Вт/м;

$l$  – довжина світлодіодної стрічки, м.

За виразом 3.3 отримаємо, що:

$$P = 18 \cdot 5 = 90 \text{ Вт} .$$

Після підстановки всіх відомих даних у вираз 3.2 отримаємо, що сила струму світлодіодної стрічки при напрузі навантаження 12 В становитиме:

$$I_{12\text{В}} = \frac{90}{12} = 7,5 \text{ А} .$$

Сила струму світлодіодної стрічки при напрузі навантаження 24 В буде рівна значенню:

$$I_{24\text{В}} = \frac{90}{24} = 3,75 \text{ А} .$$

Таким чином, світлодіодна стрічка при напрузі 12 В споживатиме 7,5 А, а при 24 В – 3,75 А. Ці параметри ми враховуватимемо при виборі MOSFET-транзистора, щоб забезпечити його ефективну роботу та відповідність вимогам навантаження.

Далі визначимо максимальний час переходу транзистора із одного стану в інший. Для цього спочатку необхідно знайти період імпульсів широтно-імпульсної модуляції (ШІМ):

$$T = \frac{1}{f}, \quad (3.4)$$

де:

$T$  – період імпульсів ШІМ, с;

$f$  – частота ШІМ-сигналу, Гц.

Будемо мати, що:

$$T = \frac{1}{5 \cdot 10^3} = \frac{1}{5000} = 0,0002 \text{ с} = 200 \text{ мкс}.$$

Мінімальна яскравість світлодіодної стрічки становить 20 %. Тобто, при такій яскравості, ширина імпульсу становитиме 20 % від періоду. Тому максимальний час переходу транзистора становитиме:

$$t = 0,2 \cdot T, \quad (3.5)$$

де:

$t$  – максимальний час переходу транзистора із закритого у відкритий стан, с.

Отримаємо:

$$t = 0,2 \cdot 200 \cdot 10^{-6} = 0,00004 \text{ с} = 40 \text{ мкс}.$$

Усі необхідні параметри для вибору MOSFET-транзистора вже визначені. При виборі слід звернути увагу на мінімальний опір каналу, щоб запобігти його перегріву.

Транзистор IRL540PbF відповідає необхідним нам параметрам:

- напруга стік-витік: 100 В, що значно перевищує робочі значення (12/24 В);
- максимальний струм стоку: 28 А, що суттєво перевищує струм через стрічку (7,5/3,75 А);
- мінімальна напруга відкриття: 2 В, тобто при 3,3 В транзистор повністю відкриється (див. рисунок 3.10);
- максимальний час перемикання: 260 нс, що має значний запас порівняно з вимогою ( $< 40$  мс).

Ці характеристики роблять IRL540PbF оптимальним вибором для керування світлодіодною стрічкою.

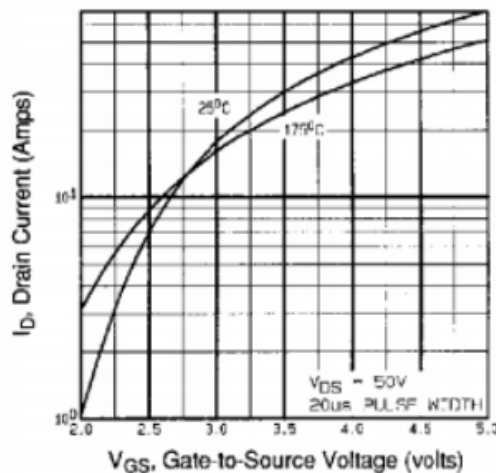


Рисунок 3.10 – Залежність струму стоку від напруги затвір-витік IRL540PbF

### 3.3.4 Блок живлення

Для живлення нашого пристрою, який має удосконалити систему автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення будемо використовуватися готовий мережевий адаптер із вихідною напругою 12 В і максимальним струмом 2,5 А (див. рисунок 3.11).



Рисунок 3.11 – Зовнішній вигляд мережевих адаптерів для живлення пристрою

Такі блоки живлення добре підходять для тестування макету та налаштування схеми. Проте для готового пристрою вони можуть бути занадто габаритними. В залежності від розмірів корпусу, джерело живлення буде або розміщене безпосередньо на платі пристрою, або інтегроване у вигляді безкорпусного блоку (див. рисунок 3.12).



Рисунок 3.12 – Безкорпусний блок живлення

Живлення мікроконтролера та периферійних компонентів (3,3 В) буде забезпечуватися лінійним стабілізатором (див. рисунок 3.13). Це просте й економічне рішення, хоча має недолік – при роботі стабілізатор може нагріватися, оскільки зайва енергія перетворюється в тепло.

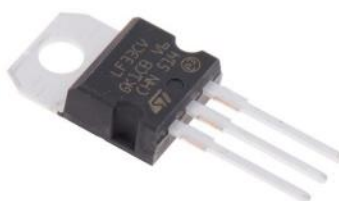


Рисунок 3.13 – Зовнішній вигляд лінійного стабілізатора на 3,3 В у корпусі TO-220

Споживання струму мікроконтролера та периферійних компонентів складе близько 350 мА. При цьому різниця між вхідною та вихідною напругою буде дорівнювати:

$$U_{\text{стаб}} = U_{\text{вх}} - U_{\text{вих}} , \quad (3.6)$$

де:

$U_{\text{стаб}}$  – спад напруги на стабілізаторі, В;

$U_{\text{вх}}$  – вхідна напруга живлення, В;

$U_{\text{вих}}$  – напруга живлення мікроконтролера та периферійних компонентів (вихідна напруга), В.

Підставивши у вираз 3.6 відомі величини отримаємо, що спад напруги на стабілізаторі становить:

$$U_{\text{стаб}} = 12 - 3,3 = 8,7 \text{ В} .$$

Потужність, яку буде розсіювати стабілізатор визначимо за наступним виразом:

$$P_{\text{розсіюв.}} = U_{\text{стаб}} \cdot I_{\text{нав.}} , \quad (3.7)$$

де:

$P_{\text{розсіюв.}}$  – потужність розсіювання стабілізатора, Вт;

$U_{\text{стаб}}$  – спад напруги на стабілізаторі, В;

$I_{\text{нав.}}$  – струм навантаження на стабілізатор, А.

Для нашого стабілізатора  $I_{\text{нав.}}$  становить 0,35 А. Отже, за виразом 3.7 будемо мати, що:

$$P_{\text{розсіюв.}} = 8,7 \cdot 0,35 = 3,045 \text{ Вт} .$$

Така потужність є зовеликою, тому лінійний стабілізатор нам слід буде обов'язково встановити на радіатор.

### 3.3.5 Комутатори нагрівача та зволожувача повітря

Оскільки нагрівач і зволожувач працюють від змінного струму напругою 230 В, для комутації можна використовувати як симістори, так і реле.

Симістори мають переваги: вони компактні, мають високу потужність, мінімальне тепловиділення та не містять рухомих контактів, що продовжує їх строк служби. Однак їх використання потребує складної обв'язки з оптопарами та синхронізацією із проходженням синусоїди через нуль.

Реле, навпаки, значно простіші у використанні, оскільки для їх підключення потрібно лише один транзистор і діод. Проте вони менш довговічні порівняно з симісторами. Завдяки простоті й доступності, у нашій роботі буде використовуватися реле.

Припустимо, що побутове приміщення для якого розробляється наш пристрій матиме обігрівач і зволожувач, кожен з потужністю близько 800 Вт. З урахуванням 20% запасу можна визначити необхідні параметри реле.

Для визначення максимального струму, який проходитиме через реле використаємо відповідний вираз:

$$I_{p\_max} = \frac{P_{сп}}{U_m} \cdot 20 \%, \quad (3.8)$$

де:

$I_{p\_max}$  – максимальний допустимий струм реле, А;

$P_{сп}$  – потужність споживача (обігрівача та зволожувача повітря), Вт;

$U_m$  – напруга мережі живлення.

Отже будемо мати, що:

$$I_{p\_max} = \frac{800}{230} \cdot 20 \% = 4,16 \text{ A}.$$

Таким чином, реле повинно відповідати таким параметрам:

- напруга котушки: 12/24 В, оскільки живлення буде подаватися через транзистор від блоку живлення;
- напруга навантаження: 230 В;
- струм, що проходить через реле: 4,16 А;
- споживана потужність: 950 Вт.

Під зазначені вище параметри ідеально підходить реле, що має назву SRD-12VDC-SL-C і зовнішній вигляд якого зображений на рисунку 3.14.



Рисунок 3.14 – Зовнішній вигляд реле SRD-12VDC-SL-C

### 3.3.6 Блок кнопок

Для керування нашим розроблюваним пристроєм для удосконалення системи автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення без смартфона буде розроблена кнопкова панель, де кожна кнопка відповідає за окрему функцію. В якості кнопок використані звичайні тактові перемикачі (див. рисунок 3.15), які доступні та ефективно виконують свою задачу.

Ці кнопки будуть встановлені на текстолітову панель для зручного монтажу у корпус розроблюваного приладу.



Рисунок 3.15 – Зовнішній вид тактової кнопки

### 3.3.7 LCD дисплей

Для відображення інформації оберемо символьний LCD-дисплей 1602 з I2C-розширювачем (див. рис. 3.16). Він є доступним і простим у використанні. На відміну від графічних OLED-дисплеїв, у ньому вже міститься вбудована символьна таблиця, що дозволяє мікроконтролеру лише надсилати команди для виведення потрібних символів. Такий підхід значно скорочує час написання програмного коду та економить пам'ять мікроконтролера, оскільки немає потреби зберігати шрифтову таблицю.



Рисунок 3.16 – Зовнішній вигляд дисплею LCD 1602 з I2C розширювачем

Завдяки наявності I2C-розширювача цей дисплей може підключатися до мікроконтролера через інтерфейс I2C. Це дозволяє скоротити кількість необхідних проводів та оптимізувати використання виводів мікроконтролера.

### 3.3.8 Годинник реального часу

На ринку України доступні кілька моделей годинників реального часу:

- DS1307
- DS3231
- PCF8523

Серед них DS3231 показав найкращу точність, оскільки має мінімальне відхилення з часом та просте підключення. Крім того, цей модуль є одним із найпоширеніших, що робить пошук інформації щодо його використання значно легшим (див. рисунок 3.17).



Рисунок 3.17 – Зовнішній вигляд двох можливих модифікацій модуля DS3231

Мікросхема здатна відстежувати секунди, хвилини, години, дні тижня, числа, місяці та роки. Вона автоматично коригується для високосних років і має два програмовані будильники на кожен день.

Однією з ключових переваг DS3231 є її підключення через I2C, як і у символьного дисплея. Це дозволяє один раз підключити бібліотеку для роботи з цим інтерфейсом, без необхідності використання додаткових бібліотек, що економить пам'ять мікроконтролера.

### 3.3.9 Датчик мікроклімату

Найбільш поширені датчики для вирішення задач пов'язаних із визначенням мікроклімату – це: DHT11, DHT21, DHT22, HTU21 та BME280.

Основні характеристики цих модулів наведені в таблиці 3.3. Варто зазначити, що DHT11, DHT21 та DHT22 використовують власний інтерфейс підключення, що ускладнює написання коду. Натомість HTU21 і BME280 працюють через I2C, що значно спрощує їх інтеграцію в існуючу систему.

Таблиця 3.3 – Порівняльні характеристики датчиків мікроклімату

| ОСНОВНІ<br>ХАРАКТЕРИСТИКИ             | DHT11                       | DHT21                           | DHT22                           | HTU21                           | BME280                          |
|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Точність виміру<br>температури        | 0–50°C з<br>точністю 2<br>% | -40–80°C з<br>точністю<br>0,5 % | -40–80°C з<br>точністю<br>0,5 % | -10–85°C з<br>точністю<br>0,3 % | -40–85°C з<br>точністю<br>0,5 % |
| Точність виміру<br>вологості          | 20–80% з<br>точністю 5<br>% | 0–100% з<br>точністю 2<br>%     | 0–100% з<br>точністю 2<br>%     | 0–80% з<br>точністю 2<br>%      | 0–100% з<br>точністю 2<br>%     |
| Мінімальний час<br>опитування датчику | 1 раз на<br>секунду         | 1 раз на<br>секунду             | 1 раз на 2<br>секунди           | 1 раз на 8<br>секунд            | 1 раз на 8<br>секунд            |

Дані для таблиці були взяті з технічної документації та паспортів датчиків. Хоча їхні характеристики виглядають схожими, на практиці різниця досить відчутна.

Наприклад, DHT11 вимірює температуру з точністю до 2 °C, проте його показники вологості нестабільні і можуть значно коливатися. DHT22 забезпечує кращу точність (похибка температури 1-2 °C, вологості 10-20%), але її значення все ще далекі від ідеальних. DHT21 займає проміжне місце між DHT11 та DHT22 і має перевагу у вигляді захищеного корпусу для роботи в зовнішніх умовах. Натомість HTU21 та BME280 відзначаються високою точністю та швидкістю вимірювання параметрів середовища, що робить їх одними з найкращих датчиків. Однак їх частота оновлення нижча, оскільки для досягнення точних значень необхідно провести більше вимірювань і обчислити середнє значення.

Тому в нашій дипломній роботі доцільно використовувати останні два датчика. Вибір зупинився на HTU21, так як він дешевший з точки зору його ринкової ціни.

### 3.3.10 I2C інтерфейс

Інтерфейс I2C широко використовується для передачі даних між пристроями, зокрема датчиками, мікросхемами та іншими електронними компонентами. Обмін даними здійснюється через два дроти: SDA (лінія даних) і SCL (лінія тактування). До однієї шини можна підключити до 127 пристроїв, кожен з яких має унікальну адресу. Це обмеження пов'язане з тим, що адреса займає 7 біт, а максимальне значення для семи біт – 126, що дає загалом 127 можливих адрес (від 0 до 126).

До шини може бути підключено кілька пристроїв, серед яких один зазвичай виконує роль master, а інші – slave (див. рисунок 3.18). Master керує передачею даних і генерує тактові імпульси на лінії SCL.

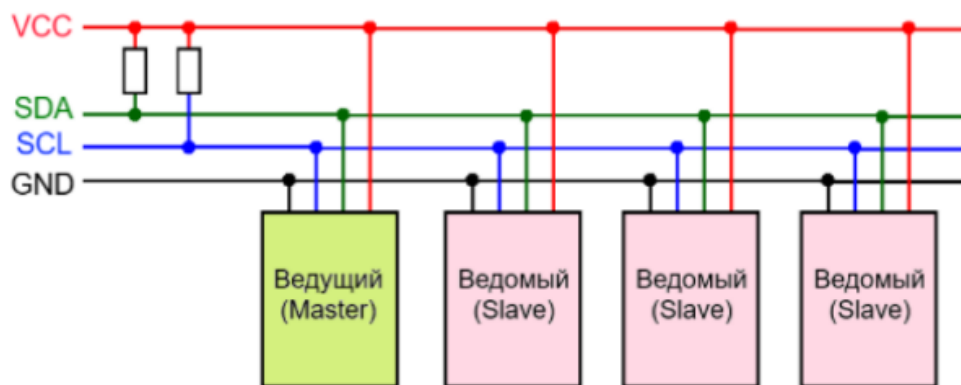


Рисунок 3.18 – Підключення декількох пристроїв на шину I2C

Обидві лінії SDA та SCL здатні працювати у двох напрямках, тому всі пристрої, що використовують цей інтерфейс, повинні підтримувати як прийом, так і передачу даних. Це реалізується через виходи з відкритим колектором. Лінії SDA та SCL підтягуються резисторами 10 кОм до логічної одиниці. Коли необхідно встановити сигнал у 0, транзистор відкривається і знижує рівень напруги на лінії до нуля.

Цей інтерфейс підтримує підключення до 127 пристроїв на одну шину, кожен з яких має 7-бітну програмну адресу, встановлену на заводі та

зазначену в технічній документації. В деяких пристроях можна змінювати адресу апаратно за допомогою перемичок або спеціальних виводів конфігурації.

Інтерфейс може бути переведений на 10-бітну адресацію, що дозволяє підключати понад 1000 пристроїв. У такому режимі передача даних починається з зарезервованої адреси, що містить перші біти 10-бітної адреси, після чого надсилаються молодші біти.

Передача даних завжди розпочинається зі спеціального стартового сигналу, коли SDA змінює рівень з логічної одиниці на нуль, тоді як SCL залишається високим (див. рисунок 3.19). Завершення передачі відбувається аналогічно – лінія SDA переходить з логічного нуля в одиницю при високому рівні SCL. Дані зчитуються лише при високому рівні на SCL, тому під час тактових імпульсів змінювати сигнал SDA не можна, оскільки саме в цей момент відбувається читання.

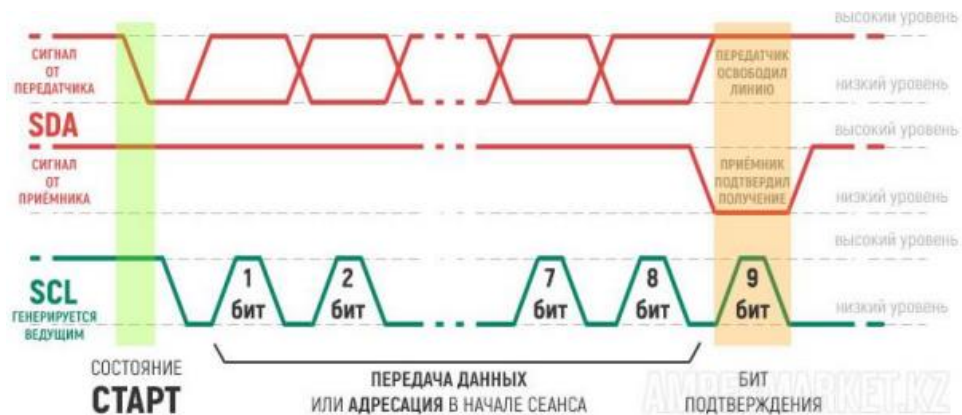


Рисунок 3.19 – Передача даних по шині I2C

У цьому інтерфейсі дані передаються по байтах, причому старший біт розташовується на початку. Після кожного переданого байту слідує сигнал підтвердження ACK (див. рисунок 3.20). Пристрій, що отримав дані, встановлює рівень SDA на 0 під час наступного тактового імпульсу SCL після завершення читання. Це дозволяє master визначити, що slave успішно отримав дані, і передача завершилася без помилок.

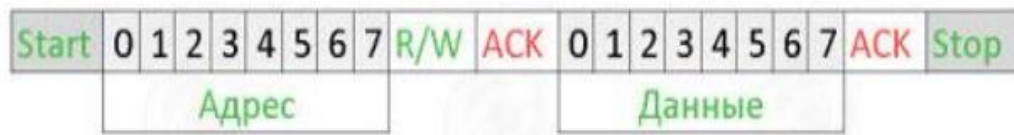


Рисунок 3.20 – Вигляд пакету інтерфейсу I2C

У першому байті передаються сім біт, що містять адресу отримувача, а восьмий біт визначає режим роботи пристрою – читання або передача даних. Якщо цей біт дорівнює 0, пристрій після отримання пакету починає передавати дані, а відправник – зчитувати їх. Якщо ж біт дорівнює 1, отримувач сприймає дані, що надходять далі.

Пристрій slave порівнює отриману адресу зі своєю і, у разі збігу, встановлює низький рівень на лінії SDA, підтверджуючи встановлення каналу зв'язку. Побачивши це, master продовжує передачу даних або розпочинає їх зчитування, залежно від біту читання/запису.

Після адресного байту передається байт, що визначає номер регістру на пристрої, з якого потрібно зчитувати дані або в який їх слід записати. Кожен пристрій має кілька таких регістрів, описаних у технічній документації. Перед встановленням з'єднання необхідно знати, в яку комірку слід передавати або з якої зчитувати дані.

Передача даних на шині відбувається за такою послідовністю: Спочатку надсилається стартовий сигнал, після якого передається адреса отримувача та біт, що визначає режим читання/запису. Далі слідує адреса внутрішнього регістру, з якого буде здійснюватися зчитування або в який записуватимуться дані. Після цього передається 1 байт даних, а завершення обміну позначається стоп-сигналом (рис. 3.21).



Рисунок 3.21 – Вигляд пакету I2C при зверненні до певного регістру

Якщо потрібно передати декілька байтів, алгоритм залишається незмінним, лише після байту з адресою регістру передається не один, а кілька байтів інформації.

Для зчитування даних спочатку необхідно передати на шину адресу пристрою, з якого слід отримати інформацію, а також номер байта, де вона зберігається. Процес передачі пакету аналогічний попередньому випадку: відправляється стартовий сигнал, потім адреса пристрою та біт читання/запису, після чого слідує номер регістру, з якого будуть отримані дані. Якщо отримувач успішно прийняв запит, завершується передача за допомогою стоп-сигналу. Читання кількох байтів відбувається аналогічним способом. У випадку, коли отримувач не встигає обробити дані, він може встановити SCL на нуль, тимчасово блокуючи лінію. Це створює додаткову складність, оскільки передавач мусить не лише надсилати дані, а й контролювати стан лінії, перевіряючи її доступність під час передачі.

Інтерфейс I2C дозволяє роботу кількох master на одній шині, при цьому пріоритет передачі даних визначається відповідно до внутрішніх адрес пристроїв.

Він підтримує три режими швидкості:

- Стандартний – до 100 кБіт/с з частотою тактування 100 кГц;
- Швидкісний – до 400 кБіт/с при частоті тактування 400 кГц;
- Високошвидкісний – до 3,4 МБіт/с із тактовою частотою 3,4 МГц.

Ці режими дозволяють вибирати оптимальну швидкість передачі залежно від вимог системи.

### 3.4 Електрична принципова схема та її особливості

На рисунку 3.22 представлена електрична принципова схема, що містить ключові вузли та компоненти пристрою, який має удосконалити

систему автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення.

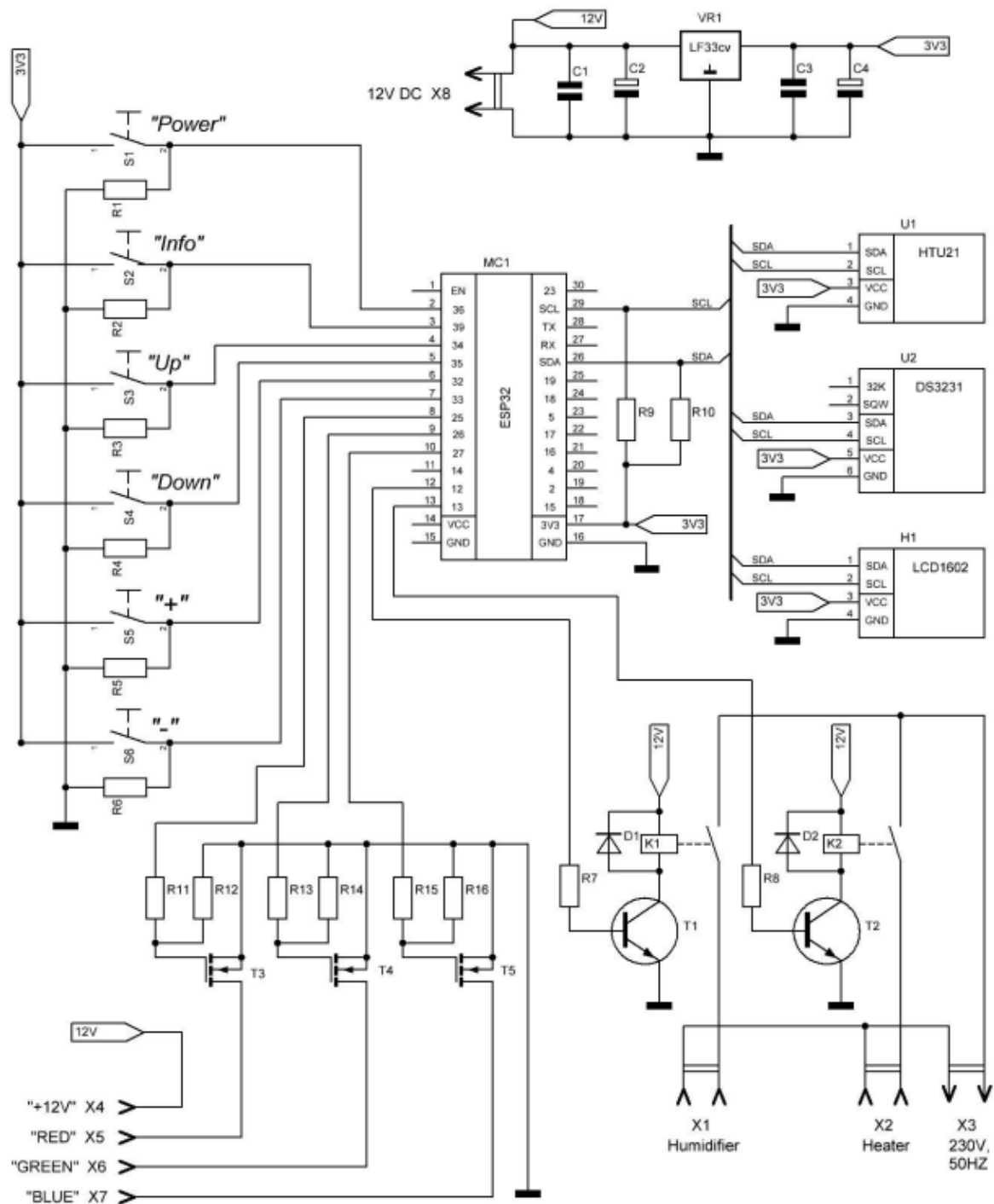


Рисунок 3.22 – Схема електрична принципова пристрою

Окрему увагу слід приділити кільком аспектам, які раніше не були детально розглянуті.

Резистори R12, R14, R16 виконують функцію підтяжки затвору до землі. Оскільки затвор польового транзистора має властивості конденсатора, після зняття керуючого сигналу його необхідно розрядити через ці резистори. В іншому випадку транзистор залишатиметься у відкритому стані. Номінал цих резисторів не є критичним і знаходиться в межах 4,7 – 10 кОм.

Резистори R11, R13, R15 виконують захисну функцію для виводів мікроконтролера. Оскільки затвор польового транзистора має ємність, початковий струм через нього може бути дуже великим, аналогічно до процесу зарядки розрядженого конденсатора. Для обмеження цього струму використовуються резистори з номіналом у межах 100 – 500 Ом.

Конденсатори C1 – C4 виконують функцію фільтрації живлення, що покращує стабільність напруги та загальну надійність роботи схеми. Їх номінали визначаються відповідно до технічної документації стабілізатора напруги: 100 нФ для C1 та C3, а 470 мкФ для C2 та C4.

Резистори R1 – R6 використовуються для підтяжки виводів мікроконтролера, до яких підключені кнопки. Без таких резисторів у ненависненому стані вивід мікроконтролера залишався б у невизначеному стані («висів у повітрі»), що могло б призвести до некоректного зчитування даних та випадкового спрацьовування кнопки. Це відбувається через те, що мікроконтролер може приймати електромагнітні завади як сигнал натискання. Оптимальний номінал таких резисторів знаходиться в межах 4,7 – 10 кОм, що забезпечує стабільну роботу кнопок та запобігає неправильному трактуванню сигналу.

Резистори R1 – R6 використовуються для підтяжки виводів мікроконтролера, до яких підключені кнопки. Без таких резисторів у ненависненому стані вивід мікроконтролера залишався б у невизначеному стані («висів у повітрі»), що могло б призвести до некоректного зчитування даних та випадкового спрацьовування кнопки. Це відбувається через те, що мікроконтролер може приймати електромагнітні завади як сигнал натискання. Оптимальний номінал таких резисторів знаходиться в межах 4,7

– 10 кОм, що забезпечує стабільну роботу кнопок та запобігає неправильному трактуванню сигналу.

Зазначені у даному підрозділі роботи аспекти мають вирішальне значення при створенні робочого пристрою. Недотримання рекомендацій може призвести до нестабільної роботи схеми або навіть до її повної несправності. Тому під час проектування друкованої плати необхідно ретельно враховувати ці вимоги та забезпечити правильне з'єднання компонентів.

## 4 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

На основі аналізу інформації з першого та другого розділів були визначені ключові функції, які необхідно реалізувати в алгоритмі роботи пристрою для удосконалення системи автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення:

- регулювання колірної температури за допомогою світлодіодної стрічки;
- вибір певного кольору світіння світлодіодної стрічки;
- автоматичне підтримання заданої температури повітря у приміщенні шляхом керування обігрівачем на основі показників датчика температури;
- контроль рівня вологості у приміщенні через увімкнення та вимкнення зволожувача відповідно до показань датчика вологості;
- використання запрограмованих режимів роботи з попередньо встановленими параметрами;
- можливість налаштування користувацьких режимів із заданими параметрами;
- автоматичне увімкнення та вимкнення режимів за розкладом;
- алгоритм поступової зміни колірної температури протягом дня;
- відображення основної інформації на LCD-дисплеї;
- керування пристроєм через Bluetooth для розширеного налаштування функцій;
- швидке налаштування основних параметрів за допомогою кнопкової панелі.

Цей набір функцій забезпечує зручне та ефективне керування пристроєм відповідно до потреб користувача.

Розробка програмного коду буде здійснюватися у середовищі Arduino IDE, яке надає широкий набір готових бібліотек із різноманітними

функціями. Завдяки цьому процес написання коду для обраного мікроконтролера значно спрощується, забезпечуючи ефективну розробку програмного забезпечення.

Алгоритм роботи програми передбачає кілька доступних користувачеві режимів:

- режим зміни колірної температури протягом дня;
- чотири стандартні режими, параметри яких змінювати не можна;
- чотири користувацькі режими, що налаштовуються відповідно до потреб.

На LCD-дисплеї буде відображатися поточний вибраний режим та стан системи («увімкнено» або «вимкнено»).

Керування функціями пристрою здійснюватиметься через кнопки або смартфон:

- перемикання між режимами;
- регулювання яскравості освітлення;
- увімкнення та вимкнення системи.

Режим зміни колірної температури протягом дня є окремим режимом, який не входить до складу інших восьми. Його головна функція — забезпечення природного переходу колірної температури відповідно до добового циклу сонця.

Чотири попередньо запрограмовані режими мають фіксовані налаштування, що не підлягають зміні. В них можна регулювати лише яскравість. Ці режими включають: «відпочинок», «робота», «нормальний режим» і «нічна підсвітка».

Ще чотири режими є користувацькими, і їх можна налаштовувати за власними потребами. В них користувач може змінювати колірну температуру, вибирати конкретний відтінок у просторі RGB, регулювати рівень яскравості тощо.

Ще однією корисною функцією є можливість автоматичного увімкнення режимів за таймером, використовуючи дані з годинника

реального часу. Користувач може задавати певні часові проміжки, протягом яких пристрій активуватиме потрібний режим.

Ця функція дає змогу:

- попередньо налаштувати режим відповідно до потреб користувача;
- вказати точний час увімкнення та тривалість активності кожного режиму.

Завдяки цьому рішення стане надзвичайно зручним для шкіл, офісів та дитячих садків, де щодня у визначений час система може автоматично активуватися. Після завершення занять або робочого дня пристрій може переключатися на інший режим або повністю вимикатися.

Загальне керування системою здійснюватиметься через Bluetooth. При цьому користувацький інтерфейс буде представлений у вигляді терміналу з визначеним набором команд, які можна надсилати на пристрій (див. рисунок 4.1). Система розпізнаватиме ці команди та виконуватиме відповідні функції.

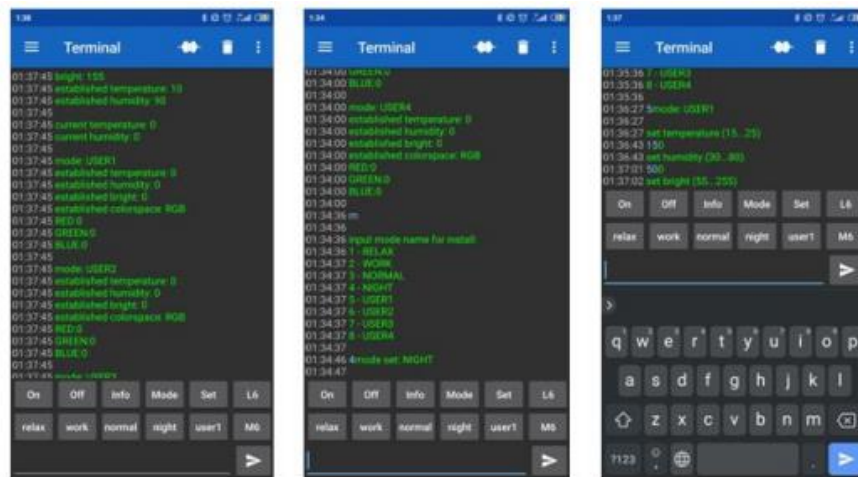


Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд термінального меню керування пристроєм

Існують декілька типів команд:

- команди, які вмикають та вимикають освітлення,
- команди, які перемикають режими,
- команди, які задають певні значення налаштувань.

Через термінал користувач зможе налаштовувати чотири користувацькі режими, змінюючи їх параметри відповідно до своїх потреб. У спеціальному меню будуть доступні підказки щодо необхідних величин та їх допустимого діапазону. Враховуючи ці підказки, користувач вводить значення колірної температури, RGB-кольору та яскравості, після чого вони зберігаються, а обраний режим активується.

За допомогою Bluetooth можна буде:

- увімкнути або вимкнути освітлення;
- перемикаєти режими роботи;
- відстежувати стан системи в реальному часі;
- налаштовувати календар та графік активації режимів згідно з годинником реального часу.

У програмі передбачено два способи налаштування кольору світла. Перший спосіб: вибір колірної температури – значення температури кольору зберігаються у масиві, і після введення потрібного параметра система знаходить відповідні дані та передає їх на RGB світлодіодну стрічку. Другий спосіб: безпосереднє встановлення кольору у форматі RGB – користувач може вибрати будь-який відтінок, незалежний від колірної температури. Цей режим чудово підходить для нічного освітлення, створення декоративного фону для фотографій або формування святкової атмосфери. Таким чином, користувач отримує гнучке налаштування освітлення відповідно до своїх потреб та вподобань.

Оскільки програма використовує Bluetooth, пристроєм можна керувати не лише з телефону, а й з комп'ютера або будь-якого іншого пристрою, що підтримує цей інтерфейс зв'язку. Для керування передбачено спеціальний мобільний застосунок, який встановлюється на телефон. У нашому випадку керування розробленим нами пристроєм системою освітлення та мікроклімату побутового приміщення будемо через додаток «Bluetooth термінал» (див. рисунок 4.2). Через нього користувач може підключатися до пристрою та виконувати необхідні налаштування.

Цей додаток містить термінал із можливістю конфігурації та має зручну функцію програмованих кнопок, які можна адаптувати під власні потреби. Користувач може задавати кількість кнопок, їх назви та команди, що будуть надсилатися в термінал при натисканні.

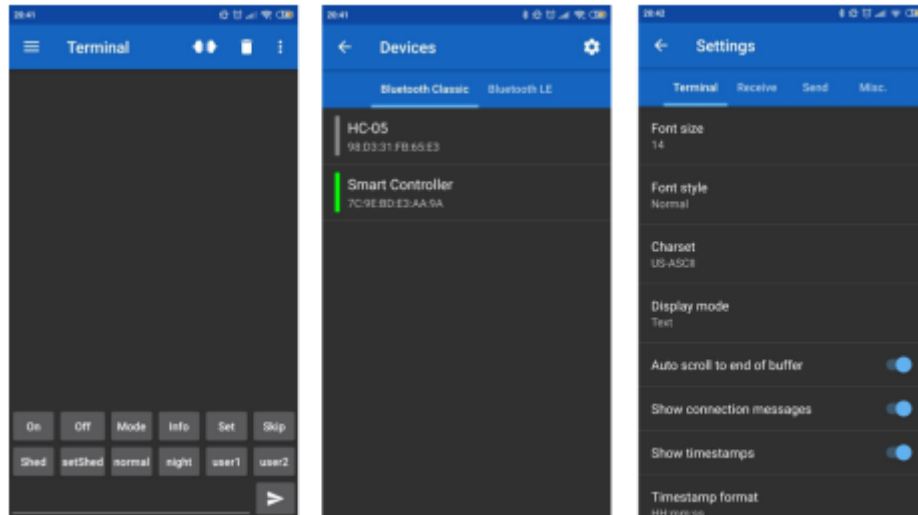


Рисунок 4.2 – Загальний вигляд та налаштування додатку «Bluetooth термінал»

Управління розробленим нами пристроєм також можливе через кнопки, але з певними обмеженнями. Наприклад, за їх допомогою не можна змінювати колір світла чи колірну температуру. Через кнопковий інтерфейс користувач зможе: увімкнути або вимкнути освітлення; регулювати яскравість світла; перемикає режими роботи.

Ознайомитися з кодом проекту можна в «Додатку А» даної дипломної роботи, де представлений фрагмент для перегляду.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 5.1 Аналіз капітальних вкладень для реалізації розробленого пристрою

У межах даної дипломної роботи було розроблено пристрій для удосконалення системи автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення. Одним із ключових етапів при розробці нашого пристрою є оцінка капітальних та експлуатаційних витрат на його впровадження, а також визначення строку його окупності та аналіз економічної доцільності.

Економічна оцінка охоплює аналіз вартості основних компонентів необхідних для реалізації нашого пристрою та витрат на його обслуговування протягом усього періоду експлуатації, що становить 5 років. Для нашого розробленого пристрою передбачається, що витрати на технічне обслуговування складатимуть 1% від його загальної вартості.

У процесі кошторисного аналізу насамперед визначається загальна річна вартість адаптивної системи освітлення (Total Annualized Cost – TAC) згідно з відповідною формулою:

$$TAC = \frac{TLCC}{CPWF}, \quad (5.1)$$

де:

TLCC (Total Life Cycle Cost) – загальна вартість розробленого приладу за весь період його експлуатації, грн.

CPWF (Cumulative Present Worth Factor) – зведений коефіцієнт приведеної вартості.

Капітальні вкладення – це фінансові ресурси, спрямовані на створення та придбання основних засобів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації. Вони є необхідною складовою процесу впровадження

розробленого приладу та відіграють ключову роль у визначенні його економічної ефективності.

У таблиці 5.1 представлено всі капітальні витрати, передбачені для реалізації пристрою, який має удосконалити систему автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення.

Таблиця 5.1 – Капітальні витрати на розробку пристрою

| №                                           | Назва технічних матеріалів   | кількість | Ціна за одиницю, грн | Сума, грн |
|---------------------------------------------|------------------------------|-----------|----------------------|-----------|
| Мікроконтролер:                             |                              |           |                      |           |
| 1                                           | ESP32                        | 1         | 340                  | 340       |
| Світлодіодна стрічка RGB:                   |                              |           |                      |           |
| 8                                           | 18 Вт/м (довжина 5 м)        | 2         | 300                  | 600       |
| Драйвер:                                    |                              |           |                      |           |
| 9                                           | MOSFET-транзистор IRL540PbF  | 1         | 24                   | 24        |
| Блок живлення:                              |                              |           |                      |           |
| 10                                          | Блок живлення (12 В; 2,5 А)  | 1         | 140                  | 140       |
| 11                                          | Стабілізатор TO-220 (0,35 А) |           | 29                   | 29        |
| Комутатор нагрівача та зволожувача повітря: |                              |           |                      |           |
| 12                                          | Реле SRD-12VDC-SL-C          | 1         | 30                   | 30        |
| Блок кнопок:                                |                              |           |                      |           |
| 13                                          | Тактильні кнопки (6х6х5 мм)  | 6         | 4                    | 24        |
| Дисплей:                                    |                              |           |                      |           |
| 14                                          | LCD1602 з I2C                | 1         | 100                  | 100       |
| Годинник реального часу:                    |                              |           |                      |           |
| 15                                          | DS3231                       | 1         | 75                   | 75        |
| Датчик мікроклімату:                        |                              |           |                      |           |
| 16                                          | HTU21                        | 1         | 83                   | 83        |
| Інтерфейс:                                  |                              |           |                      |           |
| 17                                          | I2C                          | 1         | 40                   | 40        |
| Всього                                      |                              |           |                      | 1485      |

Визначення вартості монтажних-налагоджувальних робіт проводиться згідно з відповідною формулою:

$$K_{MH} = \sum (C_i \cdot a \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{CM} \cdot K_{PP}, \quad (5.2)$$

де:

$C_i$  – кількість робітників  $i$ -го розряду, потрібних для виконання визначеного обсягу монтажних або налагоджувальних робіт, осіб;

$a$  – погодинна оплата праці працівників  $i$ -го розряду відповідно до встановленої тарифної ставки, грн.;

$t_i$  — час, необхідний для виконання визначеного обсягу монтажних або налагоджувальних робіт, год.;

$K_d = 1,1 \dots 1,5$  — коефіцієнт, що відображає величину додаткових виплат та надбавок;

$K_{CM} = 1,22$  — коефіцієнт, який враховує розмір додаткових виплат і надбавок;

$K_{PP} = 1,1 \dots 1,5$  — коефіцієнт, що відображає рівень додаткових витрат, пов'язаних із проведенням монтажних або налагоджувальних робіт.

Розрахунок вартості монтажно-налагоджувальних робіт здійснюватиметься відповідно до основних договірних цін і тарифів промислової групи компанії «Prozhektor», яка спеціалізується на розробці, встановленні та налаштуванні систем освітлення та мікроклімату приміщень.

За виразом 4.2 матимемо, що:

$$K_{MH} = 1 \cdot 247,28 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,22 \cdot 1,5 = 4072,7 \text{ грн.}$$

Так як всі компоненти для розробки нашого пристрою замовлялись через інтернет магазин ROZETKA, але продавці компонентів були різними, то сума транспортних витрат на доставку склала близько 325 грн. за всі компоненти.

Отже, розрахуємо капітальні витрати на розробку нашого приладу за формулою:

$$K = K_{OB} + K_{TP} + K_{MH}, \quad (5.3)$$

де:

$K_{OB}$  — ціна компонентної бази для реалізації розробленого пристрою без урахування ПДВ, грн.;

$K_{TP}$  – витрати на транспортування, заготівлю та зберігання, необхідні для реалізації розробленого пристрою, грн.;

$K_{MH}$  – вартість монтажних-налагоджувальних робіт розроблюваного пристрою, грн.

Отримаємо:

$$K = 1485 + 325 + 4072,7 = 5882,7 \text{ грн.}$$

## 5.2 Аналіз витрат на функціонування розробленого пристрою

Експлуатаційні витрати – це систематичні фінансові затрати, пов'язані з використанням і обслуговуванням об'єкта проектування протягом визначеного періоду.

Основні складові витрат на електротехнічне обладнання включають: амортизаційні відрахування ( $C_a$ ), вартість спожитої електроенергії ( $C_e$ ), основну та додаткову заробітну плату обслуговуючого персоналу разом із відрахуваннями на соціальні заходи ( $C_z$ ), витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт устаткування ( $C_T$ ) та інші витрати ( $C_{ін}$ ). Їх можна розрахувати за відповідною формулою:

$$C = C_a + C_e + C_z + C_T + C_{ін}, \quad (5.4)$$

Розроблений в межах даної дипломної роботи пристрій, працює автономно і не вимагає постійного контролю з боку оператора або обслуговуючого персоналу. Технічне обслуговування планово здійснюватиме власником побутового приміщення, тому витрати за статтями  $C_z$  та  $C_{ін}$  дорівнюють нулю.

Амортизаційні відрахування обчислюються з урахуванням строку експлуатації розробленого пристрою, прогнозованого економічного ефекту, технічних параметрів, рівня фізичного зносу та інших факторів, що можуть вплинути на її працездатність. Термін надійного функціонування пристрою встановлено на 5 років. Норма амортизації, визначена за прямолінійним методом, залишається сталою протягом усього періоду амортизації та розраховується за відповідною формулою:

$$H_a = \frac{K}{K \cdot T_n} \cdot 100\% , \quad (5.5)$$

де:

$T_n$  – амортизаційний період;

$K$  – капітальні витрати на розробку пристрою, грн.

Отримаємо:

$$H_a = \frac{5882,7}{5882,7 \cdot 5} \cdot 100\% = 20 \% .$$

Визначення річних амортизаційних відрахувань для розробленого пристрою в рамках даної дипломної роботи здійснимо за відповідною формулою:

$$C_a = \frac{K \cdot H_a}{100} , \quad (5.6)$$

де:

$K$  – капітальні витрати на розробку пристрою, грн.

$H_a$  – норма амортизації, %.

Будемо мати:

$$C_a = \frac{5882,7 \cdot 20}{100} = 1176,5 \text{ грн.}$$

Тепер розрахуємо щорічні витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт розробленого пристрою. До цих витрат входять витрати на матеріали, запасні частини та оплату праці фахівців, відповідальних за ремонт, які загалом складають 1% від капітальних вкладень:

$$C_m = 0,01 \cdot K, \quad (5.7)$$

де:

$C_t$  – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт розробленого пристрою, грн.;

$K$  – капітальні витрати на розробку пристрою, грн.

Отримаємо:

$$C_m = 0,01 \cdot 5882,7 = 58,8 \text{ грн.}$$

Отже, за виразом 5.4 будемо мати, що річні експлуатаційні витрати на розроблений нами пристрій становитимуть:

$$C = 1176,5 + 0 + 0 + 58,8 = 1235,3 \text{ грн.}$$

### 5.3 Розрахунок терміну окупності розробленого пристрою

У цьому підрозділі дипломної роботи проведемо оцінку доцільності впровадження розробленого пристрою для удосконалення автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення, визначивши його термін окупності. Для цього проведемо порівняльний

аналіз енергоспоживання між системами автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення із встановленим розробленим пристроєм та без нього. Порівняльні дані наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Порівняльна характеристика систем автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення

| Типи системи                                            | Невдосконала система автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення | Вдосконала система автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Споживання електроенергії на добу системою освітлення   | 500 Вт/добу                                                                                     | 300 Вт/добу                                                                                   |
| Споживання електроенергії на добу системою мікроклімату | 3000 Вт/добу                                                                                    | 1200 Вт/добу                                                                                  |
| Разом:                                                  | 3500 Вт/добу                                                                                    | 1500 Вт/добу                                                                                  |

Тарифна ставка за електроенергію становить 4,32 грн./кВт·год. Визначимо щорічний прибуток від впровадження нашого розроблюваного пристрою. Для цього визначимо економію електроенергії за добу:

$$P_{\text{доба}} = P_{\text{доба\_НС}} - P_{\text{доба\_ВС}}, \quad (5.8)$$

де:

$P_{\text{доба}}$  – економія електроенергії на добу при використанні розробленого пристрою, Вт/добу;

$P_{\text{доба\_НС}}$  – споживання електроенергії на добу невдосконаленою системою автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення, Вт/добу;

$P_{\text{доба\_ВС}}$  – споживання електроенергії на добу вдосконаленою системою автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення, Вт/добу.

Отримаємо:

$$P_{\text{доба}} = 3500 - 1500 = 2000 \text{ Вт/добу} \approx 2 \text{ кВт/добу}$$

Тепер визначимо річний прибуток при впровадженні нашого приладу:

$$Y = n_{\text{роб.днів}} \cdot E_{\text{о.п.}} \cdot P_{\text{доба}} , \quad (5.9)$$

де:

$n_{\text{роб.днів}}$  – кількість робочих днів вдосконаленої системи на рік, шт.;

$E_{\text{о.п.}}$  – тарифна ставка за електроенергію, грн./кВт·год.;

$Y$  – річний прибуток від впровадження розробленого пристрою, грн.

Будемо мати, що:

$$Y = 365 \cdot 4,32 \cdot 2 = 3153,6 \text{ грн.}$$

Визначимо термін окупності розробленого нами пристрою для удосконалення автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення:

$$T = K/Y , \quad (5.10)$$

де:

$K$  – капітальні витрати на розробку пристрою, грн.

$Y$  – річний прибуток від впровадження розробленого пристрою, грн.

Матимемо, що:

$$T = \frac{5882,7}{3153,6} = 1,9 \text{ роки.}$$

## 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 6.1 Заходи безпеки при експлуатація електроустановок низької напруги

На сьогоднішній день ураження електричним струмом зі смертельним наслідком становить до 3% від загальної кількості нещасних випадків. Масове використання електроенергії в промисловості та побуті створює значний ризик електротравм. Згідно з аналізом, частка електротравм у промисловості складає 0,5–1%, але рівень летальних випадків залишається високим — 15–20%. При цьому, до 80–85% смертельних електротравм трапляється в електромережах напругою до 1000 В.

Під час обслуговування електроустановок напругою до 1000 В необхідно виконувати планові профілактичні ремонти, перевірку ізоляції електричного обладнання, кабельних ліній та внутрішніх електромереж і т. д. Крім того, до обслуговування входить виконання дрібних робіт з попередження та усунення аварійних ситуацій і незначних несправностей.

Роботи, що проводяться в діючих електроустановках, відповідно до вимог безпеки, поділяються на три основні категорії: роботи із зняттям напруги, роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах, роботи без зняття напруги на відстані від струмопровідних частин. Роботи із зняттям напруги — виконуються після повного відключення електроживлення, перевірки відсутності напруги та встановлення захисного заземлення. Роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах — передбачають дотримання особливих заходів захисту, використання діелектричних засобів та спеціального інструменту для безпечного контакту з електроустановками. Роботи без зняття напруги на відстані від струмопровідних частин — виконуються поза зоною прямого контакту з електрообладнанням, але потребують дотримання правил ізоляції та запобіжних заходів для уникнення ураження електрострумом.

Основні види травм, які можуть виникнути під час електромонтажних робіт, включають:

механічні ушкодження – удари, розриви тканин внаслідок контакту з обертовими деталями обладнання;

- електричні опіки – виникають при прямому контакті з джерелом струму або через електричну дугу;
- травми очей – потрапляння пилу, дрібної стружки при свердлінні або обробці матеріалів;
- проблеми з дихальною системою – вдихання пилу від композитних матеріалів, що може негативно вплинути на стан легенів.

Запобігти переліченим ризикам можливо лише через суворе дотримання правил охорони праці. Нижче представлено основні вимоги, виконання яких гарантує безпечний монтаж, заміну та налаштування електроприладів будь-якого рівня складності.

Насамперед слід приділити увагу вимогам до робочого одягу:

- одяг повинен бути добре прилягаючим, щоб уникнути контакту з рухомими механічними частинами;
- необхідно використовувати захисні окуляри з небитким склом та рукавиці для забезпечення безпеки рук та очей;
- у разі потреби слід застосовувати респіратор і засоби захисту органів слуху для запобігання впливу пилу та шуму;
- при роботі без зняття напруги в електроустановках до 1000 В або поблизу них обов'язкове використання діелектричних калош для захисту від електричного струму.

Роботи, що передбачають зняття напруги, виконуються в електроустановках, де всі струмопровідні частини повністю відключені від електроживлення.

Роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах потребують застосування технічних або організаційних заходів для запобігання небезпечному наближенню до елементів, що перебувають під напругою. Такі

роботи також можуть включати безпосередню взаємодію з струмопровідними частинами, але виключно з використанням ізолюючих захисних засобів та спеціалізованих інструментів.

Роботи без зняття напруги, що виконуються на безпечній відстані від струмопровідних частин, допускаються лише за умови виключення випадкового наближення до діючих електроустановок або використання ремонтного обладнання на небезпечній відстані. У таких випадках немає необхідності впроваджувати додаткові технічні чи організаційні заходи для запобігання наближенню.

Перед початком ремонтних чи налагоджувальних робіт, а також у процесі їх виконання, відповідальні особи та виконавці повинні дотримуватися визначених технічних і організаційних заходів для забезпечення безпеки персоналу. До основних технічних заходів належать:

- відключення електроустановки та виключення можливості випадкової подачі напруги до робочої зони;
- встановлення захисних огорож та розміщення попереджувальних знаків;
- перевірка відсутності напруги та встановлення заземлення для захисту працівників.

Під час виконання пусконалагоджувальних і монтажних робіт будь-якої складності дозволено використовувати лише справний інструмент. Ручний інструмент має бути без тріщин, відколів, задирок чи щербин у місці захоплення рукою. Рукоятки кувалд і молотків повинні бути надійно закріплені клинами для забезпечення безпечної роботи.

Роботи з електроустановками напругою до 1000 В можна виконувати лише за допомогою інструментів із ізольованими рукоятками, які мають чохли або постійне покриття з вологостійкого та масло-бензостійкого електроізоляційного матеріалу. Довжина ізоляційного покриття рукояток повинна бути не менше 100 мм, а для викруток ізоляція має закінчуватися на відстані не більше 10 мм від кінця леза.

## 6.2 Надання першої допомоги при електротравмах

Широке використання електроенергії потребує відповідального ставлення, оскільки недотримання правил електробезпеки може спричинити серйозні, а в деяких випадках і смертельні травми. Згідно з дослідженнями, напруга 42 В вважається безпечною для людини, тоді як напруга понад 50 В може викликати тепловий та електролітичний ефект.

Найчастіше електротравми трапляються через порушення правил безпеки при роботі з електроприладами як у виробничих умовах, так і в побуті.

Перша допомога при ураженні електрострумом включає два ключові етапи:

- звільнення потерпілого від дії електроструму;
- надання першої медичної допомоги.

Першочергове завдання – знеструмити джерело ураження, що може бути електроприладом або кабелем. Для цього слід:

- вимкнути рубильник або електрощиток;
- вивернути або вимкнути запобіжники;
- припинити подачу живлення через роз'єднання штепсельного роз'єму.

Якщо неможливо вимкнути електроживлення стандартними методами, необхідно перерубати кабель живлення, використовуючи ізольований ріжучий інструмент.

Якщо знеструмити джерело ураження неможливо, необхідно негайно відтягнути потерпілого від електроустановки або усунути провід за допомогою предмета, що не проводить струм. Важливо при цьому захистити себе: використати гумові рукавички або обмотати руки сухою тканиною. Бажано надіти гумове взуття, а за його відсутності – підкласти під ноги діелектричний килимок, суху дошку чи складений сухий одяг. Потерпілого

слід відтягувати за краї одягу, уникаючи контакту з відкритими ділянками тіла.

Після цього потрібно негайно надати першу медичну допомогу. Протягом 10 – 20 секунд необхідно оцінити стан потерпілого:

- покласти його на спину, розстебнути одяг, що утруднює дихання;
- перевірити пульс на сонній артерії або зап'ясті;
- оцінити дихання за рухом грудної клітини;
- визначити рефлекторну реакцію зіниць при освітленні яскравим світлом.

Якщо потерпілий залишається при свідомості, але протягом тривалого часу був під впливом електроструму або прийшов до тями після непритомності, йому необхідно забезпечити спокій та спостерігати за його станом протягом 3 – 4 годин. Однак рекомендується викликати бригаду швидкої допомоги для професійної оцінки стану. Також можна запропонувати теплий чай, 20 крапель настоянки валеріани та укрити його теплою ковдрою.

При погіршенні стану потерпілого, зокрема при ознаках серцевої недостатності, нерівномірному або переривчастому диханні, а також зблідненні шкірних покривів, слід негайно розпочати штучне дихання та масаж серця.

Реанімаційні заходи не можна припиняти до прибуття медичних працівників, їх необхідно продовжувати, навіть якщо у потерпілого немає видимих ознак життя.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломної роботи був розроблений пристрій для удосконалення системи автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення. Фактично – це контролер, який дає можливість керувати освітленням та параметрами повітря за спеціальними алгоритмами, що дає змогу покращувати продуктивність та самопочуття людини, а також задовольняти більш глибокий відпочинок та розслабленість. Також впровадження даного пристрою в систему керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення зменшить енергоспоживання таких систем, що позитивно вплине на грошові витрати за електроенергію.

У процесі виконання дипломної роботи було проаналізовано значну кількість наукових літературних джерел. Серед них особливу увагу привернули дослідження впливу освітлення, температури та вологості повітря на людину. Отримані результати стали основою для розробки структурної та принципової схеми нашого пристрою, а також алгоритму його програмного забезпечення. Крім того, було розглянуто промислові аналоги, що дозволило визначити оптимальний функціонал, яким повинен володіти розроблений нами пристрій.

Також в ході виконання дипломної роботи було проведено аналіз та розрахунок економічної доцільності по впровадженню нашого розроблено пристрою під час, якого було визначено капітальні витрати на його розробку – вони становлять 5882,7 грн., а також його термін окупності, який рівний значенню 1,9 роки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрійчук В. А. Світлотехніка й електротехніка: історія, проблеми й перспективи. Праці II міжнародної науково-технічної конференції, приуроченої 160-річчю видатного українського фізика, піонера в галузі світлотехніки і електротехніки професора Івана Пулюя. Тернопіль, 2005. 170с.
2. Природне і штучне освітлення. Технічні норми. ДБН В.2.5-28:2018 (Чинні з 28.02.2019). К., 2018. 33с.
3. Іоффе К. І., Черкашина О. Л. Конспект лекцій з дисципліни «Системи керування світлотехнічними пристроями». Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 56с.
4. Бомчик О. С, Парамуд Я. С. Комп'ютерна система управління багатоканальними освітлювальними пристроями. Львів, 2018. 24 с.
5. Електротехніка у будівництві : навч. посібник / А. Є. Ачкасов, В. А. Лушкін, В. М. Охріменко [та ін.]. Харків : ХНАМГ, 2009. 363 с.
6. Напівпровідникові прилади : підручник / Л. Д. Васильєва, Б. І. Медведенко, Ю. І. Якименко . К. : Кондор, 2008. 556 с.
7. Єгорова О. Ю. Перспективи використання світла ( діодних джерел світла) / О. Ю. Єгорова, О. О. Аблецов. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил*. 2010. Вип. 3. С. 152—156.
8. Енергоефективні світлодіодні освітлювальні системи : монографія / З. Готра, В. Корнага, В. Мартіросова, Г. Нікітський, І. Пастух, А. Рибалочка, В. Сорокін, В. Щиренко ; ред. В. Сорокін ; НАН України, Ін-т фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова, Нац. ун-т «Львівська політехніка», НАМН України, Ін-т медицини праці. Київ : Авіцена, 2016. 334 с.
9. Довідникова книга для проектування електричного освітлення. 2-е вид. / Г. М. Кноррінг, Н. М. Фадін, В. Н. Сидоров. Спб : Енергоатомвид, 1992.

448 с.

10. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб. / О. І. Соловей, В. П. Розен, П. Г. Плешков [та ін.] ; М-во освіти і науки України, Кіровоград. нац. техн. ун-т. Черкаси : Чабаненко Ю., 2015. 316 с.
11. Пилипчук Р. В. Проблема енергозбереження в освітлювальних установках / Р. В. Пилипчук, Р. Ю. Яремчук. Світлолюкс. 2003. № 2. С. 10-13.
12. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. ДСН 3.3.6.042-99. Постанова Гол. Держ. сан. лікаря України від 01.12.1999 № 42
13. Правила улаштування електроустановок. ПУЕ. Розділ 6: Електричне освітлення. Київ : Мін-во енергетики та вугільної пром. України, 2017. 617 с.
14. Основи охорони праці : підручник для студентів вищ. навч. закладів / за ред. М. П. Гандзюка. К. : Каравела, 2003. 408 с.
15. Березюк О. В., Є. Г. Креготень. Перспективність використання світлодіодних ламп для освітлення виробничих приміщень. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2018/paper/3416>
16. Мікропроцесорна техніка : підручник / В. Я. Жуйков, Т. О. Терещенко, Ю. С. Ямненко, А. В. Заграничний. Київ : КПІ, 2016. 440 с.
17. Мікропроцесорні пристрої : метод. вказівки до комп'ютерного практикуму. Програмування мікроконтролерів AVR мовою Сі. Для студентів спеціальності 6.0908.03 «Електронні системи» всіх форм навчання / уклад.: Л. М. Батрак, В. А. Тодоренко, О. В. Хоменко. Київ : КПІ, 2011. 94 с.
18. Thapan K. An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans / K. Thapan, J. Arendt, D. Skene // J. Physiol. 2001. Vo1. 535(Pt. 1). P. 261.

19. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans : Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor / G. Brainard, J. Hanifin, J. Greeson [and other] // Journal of Neuroscience. 2001. Vol. 21, №. 16. P. 6405.
20. Кожушко Г. М. Щодо фотобіологічної безпечності світлодіодних ламп та світильників / Г. М. Кожушко // Промислова світлотехніка та електроенергетика. 2015. № 2. С. 26-33.
21. Безпечність ламп і лампових систем фотобіологічна ДСТУ ІЕС 62471:2009 (Чинний від 01-01-2012). Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 32 с. (Національний стандарт України).
22. Застосування положень ІЕС 62471 до джерел світла та світильників стосовно оцінення небезпечності синього світла : ДСТУ ІЕС/TR 62778:2015 (Чинний від 01-07-2017). Київ : Держспоживстандарт України, 2015. 47 с. (Національний стандарт України).
23. Вплив світла на здоров'я і самопочуття людини. URL: <https://ly.ua/ua/blog/vliyanie-sveta-na-zdorove-isamochuvstvie-cheloveka/>.

## ДОДАТОК А

## ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ

Програмний код пристрою для удосконалення системи автоматичного керування освітленням та мікрокліматом побутового приміщення

```
#include "BluetoothSerial.h" // підключення Bluetooth
BluetoothSerial SerialBT;

#include <Wire.h> // підключення дисплею
#include <LiquidCrystal_I2C.h >
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);

#include "RTCLib.h" // підключення DS3231
RTC_DS3231 rtc;

#include <HTU21D.h>
#define RES_HTU HTU21D_RES_RH12_TEMP14
HTU21D myHTU21D(RES_HTU);
// HTU21D_RES_RH12_TEMP14 - RH: 12Bit, Temperature: 14Bit // конфігурація датчика
// HTU21D_RES_RH8_TEMP12 - RH: 8Bit, Temperature: 12Bit
// HTU21D_RES_RH10_TEMP13 - RH: 10Bit, Temperature: 13Bit
// HTU21D_RES_RH11_TEMP11 - RH: 11Bit, Temperature: 11Bit

//----- налаштування температури та вологості -----
#define TIMEOUT_HTU 10000 // тайм-аут опитування датчика

uint32_t last_read_HTU = 0; // час останнього зчитування датчика
int16_t last_temp = 0; // останнє зчитане значення температури
uint8_t last_hum = 0; // останнє зчитане значення вологості
#define HUMIDIFIER 13 // пін зволожувача
#define HUMIDIFIER_ON 0 // значення для ввімкнення зволожувача
#define HUMIDIFIER_OFF 1 // значення для вимкнення зволожувача
#define HUMIDIFIER_OFF 1 // гістерезис вологості
#define HEATER 12 // пін обігрівача
#define HEATER_ON 0 // значення для ввімкнення обігрівача
#define HEATER_OFF 1 // значення для вимкнення обігрівача
#define T_GIS 2 // гістерезис температури

//----- налаштування RGB світлодіодної стрічки -----
// канали ШІМ сигналу
#define RED_CH 0 // канал червоного кольору
#define GREEN_CH 1 // канал зеленого кольору
#define BLUE_CH 2 // канал синього кольору

// піни RGB стрічки
#define RED_PIN 27 // пін червоного кольору
#define GREEN_PIN 25 // пін зеленого кольору
#define BLUE_PIN 26 // пін синього кольору

// налаштування білого кольору за
```

```

коєфіцієнтами
#define TRIM_R          1.0          // коєфіцієнт червоного кольору
#define TRIM_G          0.7          // коєфіцієнт зеленого кольору
#define TRIM_B          0.6          // коєфіцієнт синього кольору

// простір відображення кольору
#define KELVIN          1            // значення простору KELVIN
#define RGB              0          // значення простору RGB

// мін. та макс. значення налаштувань в
режимах роботи
#define minTemp          15
#define maxTemp          35

#define minHum           30
#define maxHum           80

#define minBright        55
#define maxBright        255

#define minSpace         0
#define maxSpace         1

#define minKelvin        1500        // значення пропущення параметру
#define maxKelvin        9000        // тайм-аут очікування введення даних
                                     // символ кінця команди
#define SKIP             1111        // отримані дані (число)
#define TIMEOUT          10000       // час останнього прийнятого повідомлення
#define COMM_SYMB        '/'
uint16_t inData = 0;

uint32_t last_comand_UART = 0;

```

Із повним кодом програми можна ознайомитися за посиланням:  
<https://drive.google.com/file/d/18tgjpP1T9G8WchD4ROQpSCqcVvIawNYu/view?usp=sharing>