

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему:

**«РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО
КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ РОЗУМНОГО БУДИНКУ»**

Виконав: здобувач групи Акт-42сп
спеціальності 174 «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології
та робототехніка»

Шевчук А. Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник: _____
Пташник В. В.

(прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ-2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)
д.т.н., професор, Тригуба А. М.
(вч. звання, прізвище, ініціали)
“ ” 202 року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Шевчуку Андрію Романовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка автоматизованої системи адаптивного керування освітленням розумного будинку»

керівник роботи к. т. н., доцент., Пташник В. В.
(наук. ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НУП від 25.02.2025 року № 123/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 10 червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: аналітичні матеріали щодо технологій автоматизації розумного будинку; технічні характеристики та паспорти на мікроконтролери (зокрема Arduino Uno), датчики освітленості (LM393, BH1750) та присутності (HC-SR501); документація до платформ керування типу Home Assistant, OpenHAB; науково-технічна та довідкова література з питань енергоефективного освітлення; стандарти і рекомендації щодо побудови систем адаптивного керування освітленням у житлових та громадських будівлях; нормативні вимоги з охорони праці при роботі з електротехнічними пристроями.

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

Вступ

1. Аналіз сучасного стану та постановка задачі

2. Аналіз та вибір компонентів системи

3. Проектування адаптивної системи керування освітленням

4. Охорона праці

Висновки

Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу

Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3	Пташник В. В., к.т.н., доцент			
4	Городецький І. М., к.т.н., доцент			

7. Дата видачі завдання 25 лютого 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Складання інженерної характеристики об'єкту проектування	25.02.2025 – 31.03.2025	
2	Аналіз та вибір компонентів системи	01.04.2025 – 20.04.2025	
3	Проектування адаптивної системи керування освітленням	21.04.2025 – 20.05.2025	
4	Розгляд питань з охорони праці	21.05.2025 – 31.05.2025	
5	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	01.06.2025 – 06.06.2025	
6	Завершення роботи в цілому. Підготовка до захисту кваліфікаційної роботи	07.06.2025 – 10.06.2025	

Здобувач

(підпис) Шевчук А.Р.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис) Пташник В. В.
(прізвище та ініціали)

Розробка автоматизованої системи адаптивного керування освітленням розумного будинку. Шевчук А. Р. Кафедра інформаційних технологій – Дубляни, Львівський НУВМБ ім. С.З. Гжицького, 2025.

Кваліфікаційна робота: 58 сторінок текстової частини, 29 рисунків, 1 таблиця, 23 джерел літератури.

Мета кваліфікаційної роботи полягає у створенні ефективної, надійної та економічно доцільної системи адаптивного керування освітленням, що забезпечує автоматичне регулювання інтенсивності штучного світла залежно від рівня природного освітлення та присутності людей у приміщенні, з використанням сучасних мікроконтролерів і сенсорних технологій.

Об'єктом дослідження є процеси контролю та керування освітленням у системах розумного будинку.

Предмет дослідження вивчає методи і засоби автоматизації керування освітленням у розумному будинку, включаючи використання датчиків освітленості та присутності, мікроконтролерів для обробки інформації, димерів для регулювання яскравості, а також програмного забезпечення для адаптивного керування в режимі реального часу. У роботі проаналізовано предметну область, визначено технічні рішення для побудови системи адаптивного освітлення. Розглянуто існуючі апаратні та програмні платформи, зокрема Arduino та модулі бездротового зв'язку, що дозволяють реалізувати керування на основі аналізу навколишніх умов. Визначено функціональні можливості датчиків, переваги і недоліки різних способів керування, обґрунтовано вибір архітектури системи. Розроблено структурну схему та алгоритми взаємодії компонентів системи, що забезпечують динамічне регулювання освітлення. Проведено моделювання роботи системи для оцінки її ефективності та можливості масштабування.

Ключові слова: автоматизація, розумний будинок, адаптивне освітлення, мікроконтролер, датчик освітленості, датчик присутності.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	7
1.1 Огляд технологій «розумного будинку»	7
1.2 Адаптивні системи освітлення.....	10
1.3 Апаратні платформи для керування освітленням.....	14
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ТА ВИБІР КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ	17
2.1 Джерела освітлення та їх характеристики.....	17
2.2 Контролери та димери в адаптивних системах освітлення.....	20
2.3 Датчики для системи адаптивного освітлення.....	24
2.3.1 Датчик освітленості LM393.....	26
2.3.2 Датчик освітленості BH1750	28
2.3.3 Датчик присутності HC-SR501	29
2.4 Варіанти зв'язку у системах керування.....	30
РОЗДІЛ 3 ПРОЄКТУВАННЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ.....	34
3.1. Архітектура системи та середовище керування	34
3.3 Програмна реалізація системи	39
3.3.1 Програмування компонентів нижнього рівня	41
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	50
4.1 Загальні вимоги до безпеки при проектуванні систем розумного будинку	50
4.2 Ризики та небезпеки при використанні адаптивних систем освітлення в умовах надзвичайних ситуацій	51
4.3 Заходи безпеки при тестуванні та експлуатації автоматизованих систем освітлення.....	53
ВИСНОВКИ	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	57

ВСТУП

У сучасному світі автоматизація приміщень набуває популярності завдяки прагненню підвищити комфорт, безпеку та енергоефективність. Одним із перспективних напрямів є концепція «розумного будинку», в якій керування освітленням, температурою, вентиляцією та іншими функціями відбувається автоматично за допомогою мікроконтролерів і датчиків.

Традиційне освітлення часто не враховує зміну природного світла або присутність людей, що призводить до зайвого споживання електроенергії.

Сучасні технології IoT, доступні мікроконтролери (як-от Arduino) та модулі бездротового зв'язку забезпечують можливість реалізації таких рішень навіть у побуті. Крім того, систему можна інтегрувати з популярними платформами, як-от Home Assistant.

Актуальність теми зумовлена потребою в ощадливому використанні електроенергії та зручності автоматизованого керування. За оцінками, адаптивне освітлення здатне скоротити споживання електроенергії на 30–40%.

Метою роботи є створення автоматизованої системи керування освітленням, яка враховує рівень природного освітлення та присутність людини, з реалізацією на базі Arduino. Розглядаються вибір компонентів, розробка алгоритмів та програмне моделювання системи.

Об'єкт дослідження – процес керування освітленням в умовах змінної освітленості. Предмет дослідження – структура та засоби реалізації адаптивної системи освітлення.

Завдання роботи включають аналіз сучасних рішень, вибір обладнання, створення структурної схеми, програмування системи, моделювання її роботи та оцінку ефективності.

Практичне значення полягає у можливості використання розробленої системи в житлових і громадських приміщеннях. Вона є модульною, масштабованою і придатною до розширення.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Огляд технологій «розумного будинку»

Сучасна побутова електротехнічна система типу «розумний дім» являє собою комплекс програмно-апаратних засобів і технологій, що забезпечують автоматизацію та інтелектуальне керування електрообладнанням за заданими алгоритмами [3]. Така високотехнологічна система включає підсистеми різного функціонального призначення: освітлення, опалення, сигналізацію, відеоспостереження тощо. Усі пристрої та підсистеми об'єднані інформаційними зв'язками, що дає змогу здійснювати узгоджене керування відповідно до запрограмованих сценаріїв.

Інтелектуальна система управління освітленням дозволяє задавати певні сцени освітлення у будинку відповідно до індивідуальних потреб і вподобань користувача. «Розумне» освітлення реагує на присутність людей у приміщенні – вмикається під час входу та вимикається після виходу. Система керування опаленням призначена для підтримки встановленої температури в усьому приміщенні або в окремих зонах. Це може бути як фіксоване значення, так і динамічне – зі зміною впродовж доби або відповідно до погодних умов.

Технологія розумного дому, також відома як домашня автоматизація або домотика (від латинського domus – будинок), забезпечує безпеку, комфорт, зручність та енергоефективність, дозволяючи власникам керувати пристроями через спеціальні застосунки на смартфоні або іншому інтернет-підключеному пристрої (рис. 1.1). Інтеграція різних елементів у єдину систему з додаванням сенсорів і модулів зв'язку дозволяє реалізувати концепцію Інтернету речей (IoT), що забезпечує координацію дій між компонентами, обмін даними про споживання ресурсів і режими роботи, а також автоматизоване керування з урахуванням звичок і переваг користувача [3].

Серед сучасних пристроїв, що реалізують концепцію розумного будинку, можна назвати смарт-телевізори, які підключаються до Інтернету і забезпечують доступ до медіаконтенту, наприклад, до відео на вимогу чи музики. Деякі моделі також підтримують розпізнавання голосу або жестів. До таких систем належать і розумні освітлювальні рішення, як-от Philips Hue, здатні визначати наявність людей у приміщенні та відповідно регулювати яскравість або колір освітлення залежно від рівня природного світла. Ще одним прикладом є розумні термостати, зокрема Nest від Nest Labs Inc., які мають вбудований Wi-Fi, дають змогу користувачу налаштовувати температуру, керувати нею дистанційно, а також збирати статистику енергоспоживання. Вони здатні до самонавчання і можуть адаптувати свої налаштування до індивідуального стилю життя мешканців.

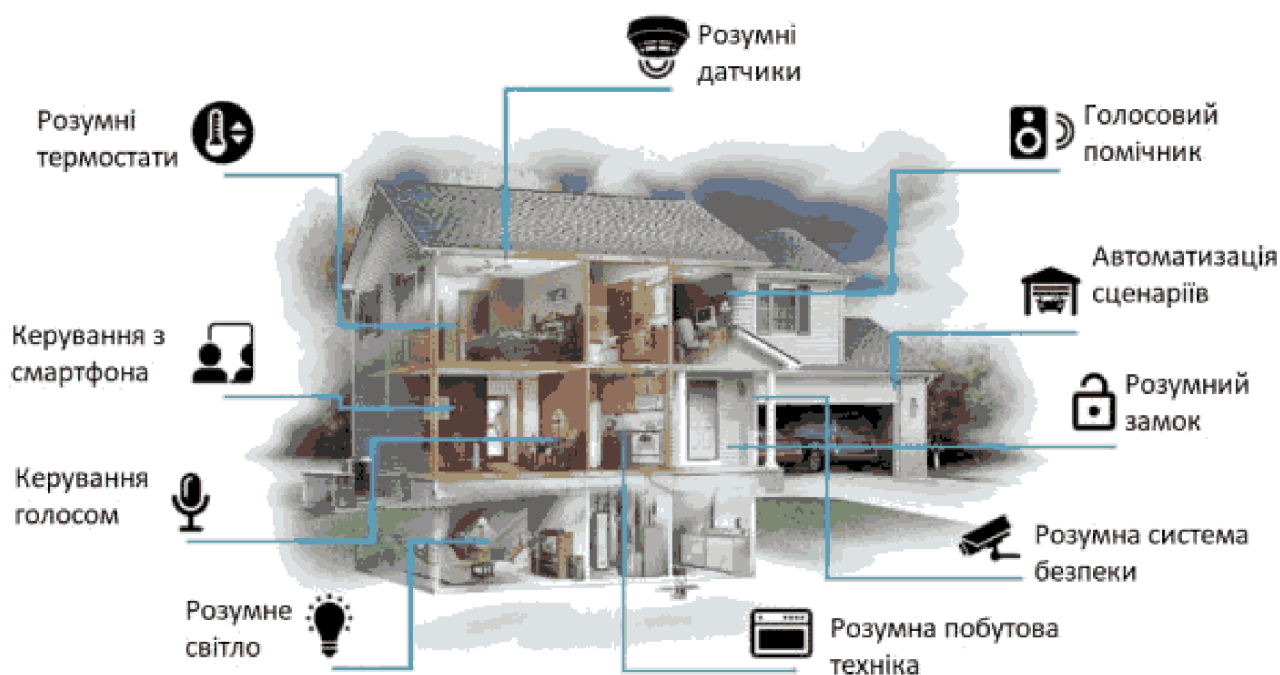


Рисунок 1.1 – Функції розумного будинку

Однією з ключових переваг домашньої автоматизації є постійна поінформованість власника про події в будинку, а також можливість дистанційного керування різними підсистемами. Вона також має значення для людей похилого віку, забезпечуючи контроль за фізіологічними показниками, що підвищує безпеку та комфорт.

Функція віддаленого керування дає змогу користувачам заздалегідь запрограмувати відкривання гаражних воріт, вмикання світла, опалення, побутових приладів або відтворення музики у визначений час. Автоматизація також сприяє підвищенню енергоефективності: замість того щоб утримувати ввімкненими кліматичні прилади весь день, розумна система реагує на зміну температури або часу і вмикає їх лише за необхідності. Наприклад, система зрошення поливає газон лише за потреби, точно дозуючи воду та добрива. Завдяки цьому споживання електроенергії, води та ресурсів стає більш раціональним, що дозволяє економити природні ресурси й кошти.

Попри переваги, розумні будинки мають і недоліки: складна структура, високі вимоги до технічної обізнаності, значна вартість обладнання. Деякі користувачі відмовляються від таких систем через складність або недовіру до нових технологій. У відповідь виробники зосереджуються на спрощенні інтерфейсів і покращенні взаємодії, щоб автоматизація була доступною для ширшого кола споживачів.

Технічна реалізація домашньої автоматизації потребує єдиних стандартів і протоколів. Пристрої мають бути сумісними незалежно від виробника. На сьогодні загальновизнаного стандарту не існує, однак провідні компанії активно працюють над уніфікацією протоколів і забезпеченням сумісності.

Найпоширенішими протоколами зв'язку в системах автоматизації є Zigbee та Z-Wave. Обидва використовують малопотужні радіосигнали, але відрізняються: Z-Wave має більший радіус дії (30 м проти 10 м у Zigbee), а Zigbee вважається більш складним. Чіпи Zigbee пропонують багато компаній, тоді як Z-Wave – переважно компанія Sigma Designs.

Усі пристрої під'єднані до головного контролера, або хаба, який координує обмін даними та керує системою. Хаб об'єднує всі функції в один застосунок для зручного керування. Відомі приклади – Amazon Echo, Google Home, Insteon Hub Pro, Samsung SmartThings і Wink Hub.

Систему можна зібрати власноруч, наприклад, на основі Raspberry Pi, або придбати готовий комплект для домашньої автоматизації, що включає всі необхідні компоненти.

У простих сценаріях розумного дому дії можуть бути запланованими (наприклад, закриття штор о 18:00) або реактивними (розблокування дверей і вмикання світла, коли смартфон власника наближається до будинку).

Штучний інтелект і машинне навчання все ширше впроваджуються у розумні системи. Голосові помічники, такі як Amazon Alexa чи Google Assistant, здатні адаптувати роботу системи до звичок і потреб мешканців, покращуючи взаємодію з користувачем.

У межах цієї роботи буде розглянуто підсистему адаптивного освітлення, з аналізом сучасних підходів до її побудови, конструктивних особливостей, функціональних можливостей і наявних проблем у цій галузі.

1.2 Адаптивні системи освітлення

Управління освітленням у великих будівлях є складним завданням автоматизації, особливо коли потрібно враховувати наявність жалюзі, різні типи світильників, особливості архітектури, географічне розташування, погодні умови та сезонність. Адаптивні системи дозволяють зменшити витрати електроенергії, скорочуючи використання штучного освітлення в денний час і в порожніх приміщеннях [5].

Одним із ключових завдань є інтеграція природного й штучного освітлення. Природне світло змінюється залежно від часу доби, погоди та сезону, тому система повинна контролювати його інтенсивність і визначати необхідне доповнення штучного освітлення для забезпечення рівномірності й уникнення відблисків. Управління освітленням реалізується через два взаємодіючі модулі: модуль денного та модуль штучного освітлення. Їх поєднання забезпечує комфортні умови й ефективне споживання електроенергії (рис. 1.2).

АДАПТИВНІ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ

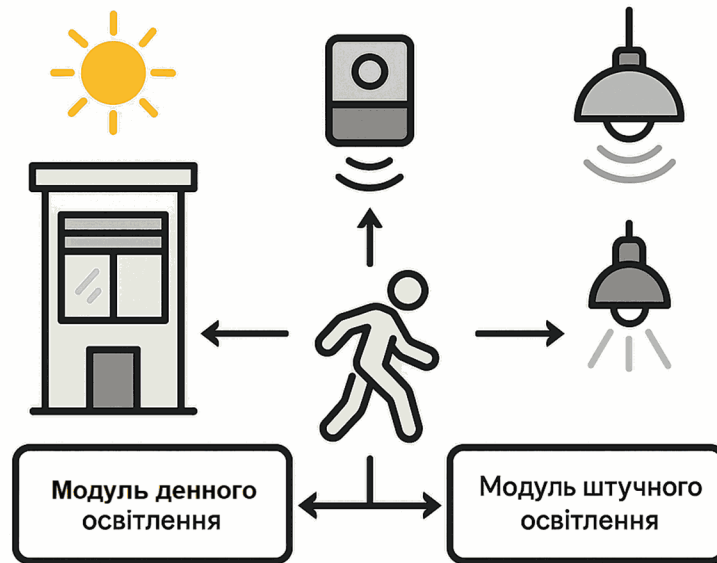


Рисунок 1.2 – Структурна схема адаптивної системи освітлення в будівлі

Автоматизоване керування дозволяє підтримувати стабільний рівень освітлення на робочих місцях при мінімальному енергоспоживанні. Інтелектуальні системи є ефективнішими за ті, що залежать лише від ручного керування. Для автономного прийняття рішень така система повинна отримувати достовірні дані, зокрема сигнали від датчиків. Саме вони слугують основним джерелом інформації для адаптації режимів освітлення. Мережа смарт-ламп з сенсорним керуванням здатна реагувати на зміни довкілля, динамічно налаштовуючи освітлення відповідно до умов, що сприяє енергоефективності, комфорту та зниженню витрат [6].

У цій роботі розглядатиметься підхід до адаптивного керування освітленням, обраний для реалізації проєкту.

Відстеження присутності є одним із найпоширеніших методів керування освітленням у сучасних будівлях. Воно дає змогу автоматично затемнювати або вимикати світло, якщо в приміщенні не зафіксовано руху чи присутності людини протягом заданого інтервалу часу. Коли рух виявлено – світло знову вмикається або регулюється відповідно до запрограмованої сцени.

Рух фіксується датчиками, що працюють на основі інфрачервоних, ультразвукових або мікрохвильових технологій. Кількість таких датчиків залежить від розмірів простору, його типу та вимог до рівня освітлення (рис. 1.3).

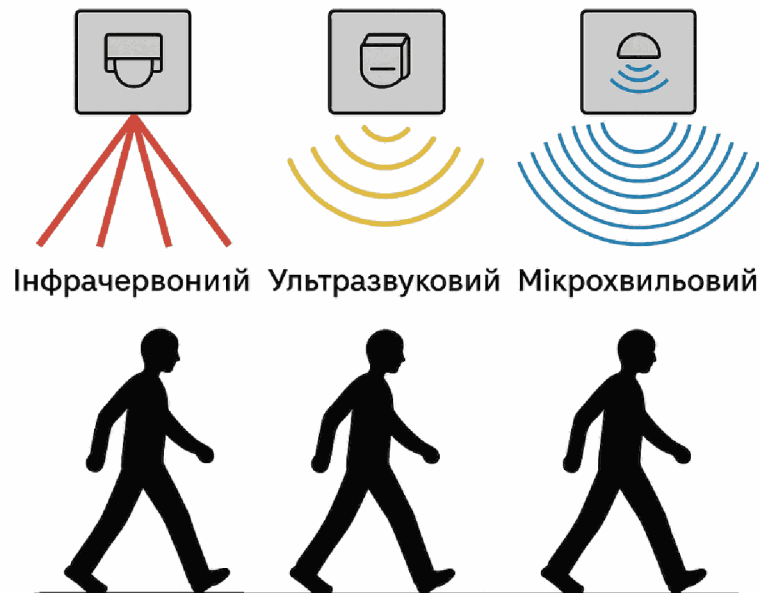


Рисунок 1.3 – Принцип дії інфрачервоного, ультразвукового та мікрохвильового сенсорів руху

У простому сценарії всі світильники працюють синхронно, підтримуючи однакову інтенсивність світла в приміщенні, поки мешканець перебуває в полі зору хоча б одного датчика. Ефективнішим є поділ простору на зони освітлення, кожна з яких має один або кілька відповідних датчиків. У цьому випадку вмикається тільки освітлення в тій зоні, де зафіксовано рух. Такий підхід до зонування особливо ефективний у великих відкритих приміщеннях, на сходах або в довгих коридорах [7].

Якщо подивитися на кімнату праворуч (рис. 1.4), видно, що освітлена лише її частина. Це пояснюється тим, що людина просто проходить крізь неї до іншої кімнати, тож немає потреби вмикати все освітлення. У таких випадках активується лише локальне світло, яке гасне після виходу. Без зонування та відповідності між освітленням і датчиками руху простір залишатиметься повністю освітленим, що підвищує енергоспоживання. Практичний досвід і

розрахунки підтверджують ефективність такого підходу для офісів з погляду енергоощадності.

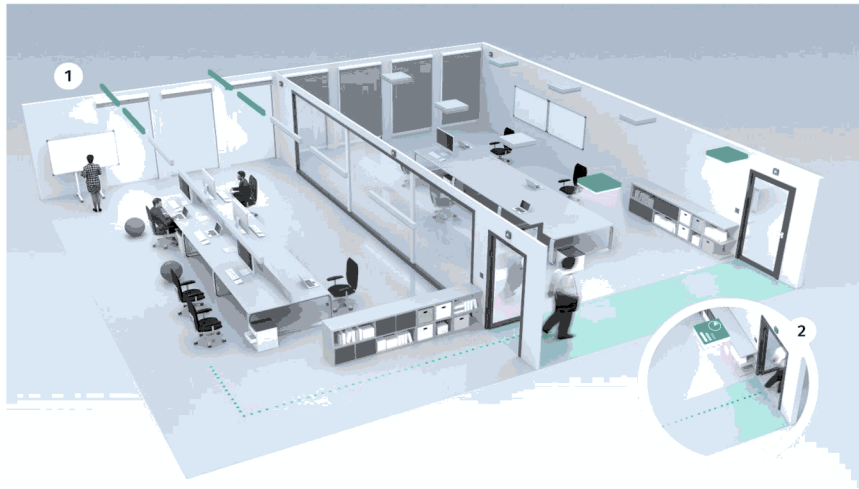


Рисунок 1.4 – Схема зонального поділу приміщення для освітлення

Найкращим енергоефективним рішенням є інтеграція датчиків руху безпосередньо в світильники. Це дає змогу кожному приладу автономно реагувати на присутність. Такий підхід особливо ефективний у офісах і на виробництвах, де кожне робоче місце освітлюється лише за необхідності, коли на ньому перебуває працівник.

Відстеження присутності – ефективна стратегія зниження витрат на освітлення, тому датчики часто є обов’язковими згідно з енергетичними стандартами для комерційних будівель [8]. Економія значною мірою залежить від типу приміщення: найбільшу вигоду отримують простори з переривчастим перебуванням людей, як-от класи чи офіси. У середньому, у таких середовищах можна досягти зниження споживання енергії на 20–30%.

Концепція присутності працює однаково як у дротових, так і бездротових системах освітлення. Бездротові рішення забезпечують гнучкість, скорочують час інсталяції та усувають потребу у прокладці кабелів. Наприклад, технологія Bluetooth [9] з підтримкою «сплячих вузлів» дозволяє сенсорам працювати в режимі очікування, активуючись лише за адресним викликом. Це дозволяє системам бездротового освітлення працювати роками без заміни батарей.

Бездротова технологія забезпечує високу гнучкість у впровадженні систем адаптивного освітлення. Для підвищення ефективності та адаптації до потреб власників, особливостей використання приміщень чи змін нормативних вимог систему можна налаштовувати вручну під час експлуатації. Користувач може змінювати рівень освітлення або встановлювати затримку між виявленням руху та вмиканням чи затемненням світла. У розумних системах такі зміни вносяться за кілька секунд за допомогою мобільного застосунку.

Відстеження присутності ефективно поєднується з іншими стратегіями керування освітленням, що дозволяє зменшити споживання енергії. Зокрема, застосування датчиків освітленості дозволяє динамічно регулювати потужність штучного світла залежно від рівня природного освітлення.

1.3 Апаратні платформи для керування освітленням

Сьогодні існує багато способів реалізації адаптивного освітлення за допомогою готових плат керування, зокрема Arduino, Raspberry Pi, NooLite та інших. Вони дають змогу дистанційно керувати освітленням, навіть на великій відстані, через підключення різних виконавчих модулів.

Arduino – це електронна платформа з відкритим кодом, що поєднує просте апаратне забезпечення з доступним програмним середовищем [10]. Плата Arduino (рис. 1.5) може працювати з датчиками освітлення, кнопками, а також реагувати на запрограмовані події. У відповідь система може запускати двигун, вмикати світлодіоди або інші виконавчі пристрої. Для цього потрібно задати логіку дій у вигляді інструкцій для мікроконтролера, використовуючи мову Arduino та середовище програмування Arduino IDE.

Завдяки простому та зручному інтерфейсу Arduino користується популярністю не лише серед аматорів, а й у професійному середовищі. Програмне забезпечення Arduino легке для початківців і водночас достатньо гнучке для досвідчених користувачів. Воно підтримується на Mac, Windows та

Linux. Платформи Arduino широко застосовуються в освітніх установах: викладачі та студенти створюють на їх основі доступні наукові прилади, інженерні та дослідницькі проекти в галузі програмування й робототехніки. Дизайнери, архітектори, музиканти та художники використовують їх для створення інтерактивних інсталяцій і прототипів. Багато проектів на базі Arduino демонструються на виставках, таких як Maker Faire [11].

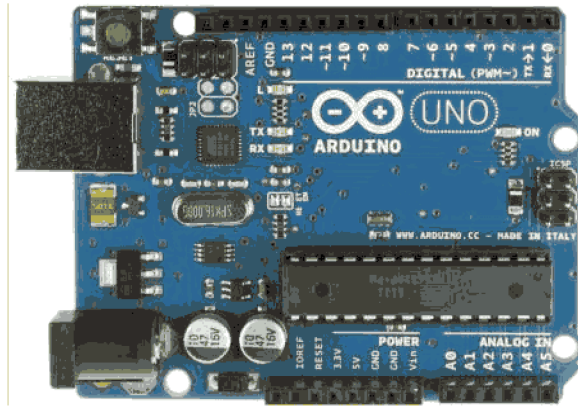


Рисунок 1.5 – Фронтальний вигляд мікроконтролерної плати Arduino Uno R3

Raspberry Pi – це компактний одноплатний комп'ютер (розміром із кредитну картку), що підключається до дисплея, клавіатури та миші [12]. Він універсальний і потужний, здатний виконувати широкий спектр завдань. Програмується мовами Scratch або Python. Raspberry Pi підтримує перегляд документів, Інтернет-ресурсів, відео у високій якості та інші функції звичайного ПК. Його активно використовують у проєктах автоматизації – від музичних пристроїв до метеостанцій з інфрачервоними камерами (рис. 1.6).

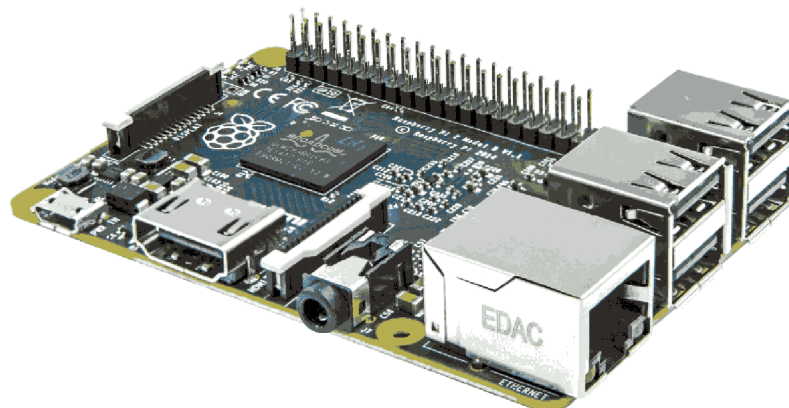


Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд Raspberry Pi

NooLite – це доступна технологія бездротового керування освітленням для розумного дому. Система складається з радіопульта NooLite та радіоперемикача (блоку живлення). Її використання не потребує прокладання кабелів – пульт можна розмістити на будь-якій поверхні, яка не блокує сигнал. Основна перевага – можливість керувати освітленням з будь-якої точки приміщення. Кількість пультів можна масштабувати за потреби. Бездротова система NooLite є зручною альтернативою традиційним вимикачам, адже працює повністю без проводів (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд NooLite

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ТА ВИБІР КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ

2.1 Джерела освітлення та їх характеристики

Існує кілька основних типів освітлення [14], серед яких: природне світло, лампи розжарювання, люмінесцентні, галогенні, світлодіодні та розрядні лампи високої інтенсивності (HID).

Природне денне світло вважається еталоном, за яким оцінюють інші джерела. Воно має як переваги, так і обмеження. Хоча денне світло позитивно впливає на психоемоційний стан, його інтенсивність сильно варіюється – від 120 000 люкс у сонячний день до менше ніж 5 люкс у похмурий. Така мінливість ускладнює адаптацію, особливо для людей з вадами зору.

Природне освітлення часто спричиняє появу тіней і відблисків усередині приміщень. Для уникнення цього денне світло має бути рівномірним і розсіяним. Рішеннями можуть бути тонування вікон, напівпрозорі стінові панелі, зовнішні навіси або плівки, які зменшують проникнення сонячного випромінювання [5].

Людям зі зниженим зором складно орієнтуватися в умовах світлового контрасту. Важливо забезпечити достатню освітленість на входах у будівлі, біля сходів, порогів та інших потенційно небезпечних ділянок. Рівень світла всередині й зовні бажано максимально наблизити.

Навіси можуть зменшити відблиски, але іноді заважають видимості. Зовнішні сходи повинні бути відкритими й добре освітленими. Внутрішні штори, які блокують до 100% світла, автоматично регулюють яскравість і допомагають усунути відблиски. Керування може здійснюватись за допомогою комп'ютерних систем, які враховують індивідуальні потреби користувачів.

Лампи розжарювання – це застаріла технологія, що виробляє і світло, і тепло. Їх спектр близький до природного освітлення, тому вони досі використовуються для заміни денного світла в деяких умовах.

Лампи розжарювання не є енергоефективними, тому їх дедалі частіше замінюють інші джерела світла – люмінесцентні лампи, світлодіоди та світлодіодні індикатори, які забезпечують більше видимого світла при тій самій витраті електроенергії [6].

Люмінесцентні лампи споживають менше енергії, служать довше і виділяють менше тепла, ніж лампи розжарювання. Вони мають трубчасту форму і є традиційним джерелом світла в офісах та великих приміщеннях. Також поширені компактні люмінесцентні лампи (КЛЛ), які забезпечують ефективне загальне освітлення. Їх використання заохочується багатьма державними програмами як енергозберігаючий захід [7].

Люмінесцентне світло розподіляється рівномірно, без яскравих точкових відблисків, характерних для нитки розжарення. Основним недоліком цих ламп є легке мерехтіння [7], що може викликати втому й дискомфорт, особливо у людей з вадами зору. Зменшити цей ефект можна за допомогою спеціального екранування, використання двох ламп із фазовим опором або застосування непрямого освітлення з розсіювачами.

Моделі з регулюванням яскравості та високочастотними електронними баластами зменшують мерехтіння та енергоспоживання, що важливо для зорового комфорту літніх людей і користувачів з периферійним зором.

Вольфрамowo-галогенна лампа – це вдосконалена версія лампи розжарювання, в якій нитка оточена інертним газом і невеликою кількістю галогену. Така конструкція підвищує ефективність і подовжує термін служби. Галогенні лампи генерують яскраве біле світло й забезпечують вищу світлову віддачу на 1 Вт потужності порівняно з традиційними лампами розжарювання, що робить їх хорошим джерелом освітлення.

Оскільки галогенні лампи дуже яскраві, важливо правильно розмістити світильники, щоб уникнути відблисків і тіней. Вони також виділяють значну

кількість тепла, що потребує врахування з міркувань безпеки. Такі лампи не слід встановлювати нижче рівня очей людини.

Світлодіоди – це енергоефективні джерела світла з простим схемним виконанням. Їхнє світло близьке за характеристиками до денного, тому вони вважаються практичними та одними з найефективніших у використанні. Світлодіодні світильники добре підходять для спрямованого освітлення об'єктів чи архітектурних елементів, але також можуть формувати масиви для створення розсіяного світла, подібного до ламп розжарювання.

Світлодіоди не випромінюють ультрафіолету і майже не нагріваються, тому їх ідеально використовувати для освітлення об'єктів, чутливих до УФ-випромінювання, наприклад, витворів мистецтва. Раніше їх застосовували переважно як індикатори в електроніці, однак сьогодні сфера використання значно ширша – від вивісок і вуличного освітлення до архітектурних елементів, робочого та акцентного підсвічування. До основних переваг світлодіодних джерел освітлення належать миттєве вмикання, можливість плавного регулювання яскравості (особливо у ламп з великою кількістю світлодіодів), широкий діапазон кольорових температур і спектрів освітлення, тиха робота та низька напруга живлення, що підвищує безпеку. Завдяки цим характеристикам світлодіодні світильники стають дедалі популярнішими й доступнішими.

Лампи HID (High Intensity Discharge) – це дугові лампи з довгим строком служби та високою питомою світловіддачею (люмен на ват). До них належать лампи на парах ртуті, металогалогенні, натрієві високого й низького тиску.

Натрієві лампи низького тиску вирізняються високою ефективністю, але випромінюють насичене жовто-помаранчеве світло з майже нульовим індексом передачі кольору. У такому освітленні об'єкти виглядають монохромними, що може бути незручним для людей із вадами зору. Металогалогенні й керамогалогенні лампи забезпечують нейтральне біле світло, що важливо для точного відтворення кольорів, зокрема в телебаченні, кіновиробництві, нічному спорті, фарах автомобілів та акваріумному освітленні. Натрієві лампи високого тиску випромінюють світло, ближче до білого, але з характерним рожево-

оранжевим відтінком. Сучасні моделі часто оснащені засобами корекції кольору.

HID-лампи зазвичай використовуються у великих просторах, де потрібне інтенсивне верхнє освітлення з високою енергоефективністю – на стадіонах, складах, паркінгах, дорогах, зонах відпочинку. Останнім часом галогенні лампи HID також застосовують у менших комерційних і житлових об'єктах. Такі світильники зробили можливим ефективне внутрішнє садівництво, особливо для світлолюбних рослин.

2.2 Контролери та димери в адаптивних системах освітлення

У системах адаптивного керування освітленням ключову роль відіграють контролери – електронні пристрої, що отримують сигнали від сенсорів (освітленості, руху тощо), обробляють їх за заданими алгоритмами й формують команди для виконавчих пристроїв. Одним із найпоширеніших варіантів є мікроконтролер Arduino Uno, що вирізняється простотою, доступністю та широкою підтримкою з боку спільноти розробників. Для складніших сценаріїв застосовують контролери типу ESP8266 або Raspberry Pi, які підтримують Wi-Fi, що спрощує інтеграцію в IoT-інфраструктуру.

Контролери здатні аналізувати інформацію з датчиків у реальному часі, обробляти умови освітлення або присутності, вмикати або вимикати світло, а також регулювати яскравість джерел освітлення через димери. Димер – це електронний модуль, що дозволяє змінювати подану напругу на світильник, тим самим регулюючи його яскравість. На відміну від звичайного реле, димер не просто вмикає або вимикає лампу, а дозволяє плавно налаштовувати інтенсивність світла.

Найпростіші димери побудовані на основі симісторів або MOSFET-транзисторів і працюють за принципом фазового регулювання змінної напруги. У сучасних системах керування частіше використовують цифрові димери з

інтерфейсами PWM або 0–10 В, що легко інтегруються з мікроконтролерами. Такі пристрої можуть забезпечити високу точність керування освітленням, особливо в поєднанні зі світлодіодними лампами, які добре реагують на широтно-імпульсну модуляцію.

На рисунку 2.1 зображено типовий варіант взаємодії контролера з датчиками, димерами та освітлювальними приладами. Вхідні сигнали від датчика освітленості та сенсора присутності надходять до контролера, який після аналізу даних надсилає керуючий сигнал на димер. Останній відповідно регулює яскравість світлодіодної лампи.

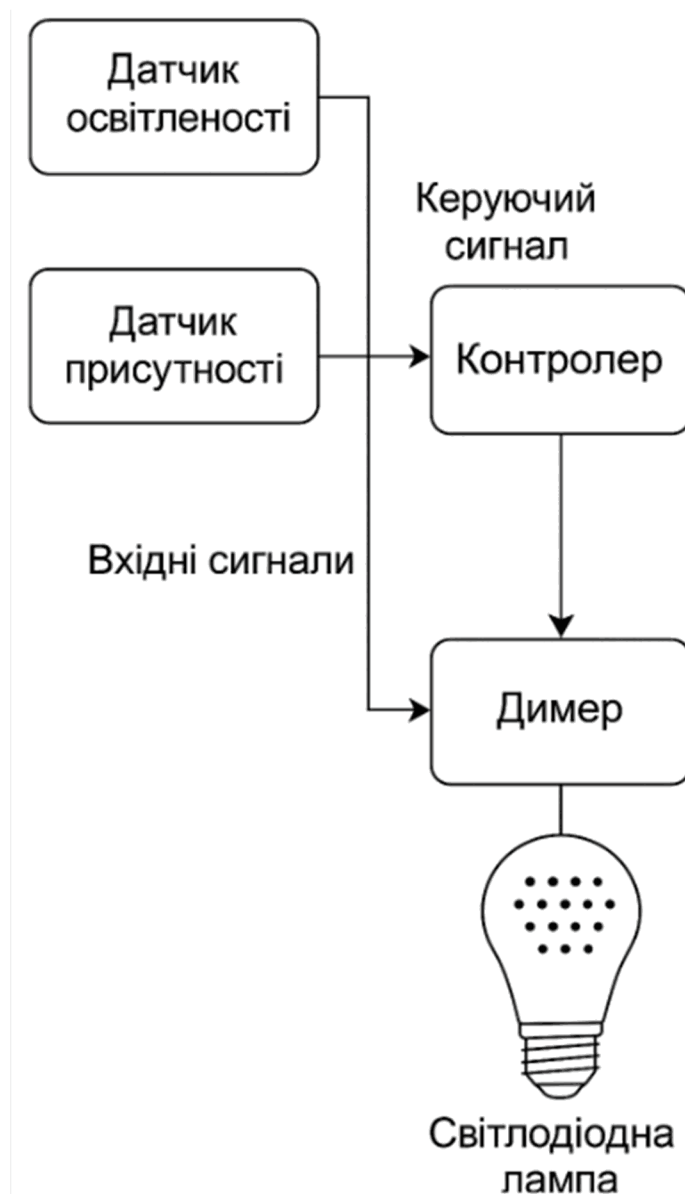


Рисунок 2.1 – Узагальнена схема взаємодії контролера, димера та освітлювального приладу

Контролери адаптивного освітлення також можуть підтримувати попередньо налаштовані сцени – режими освітлення для різних сценаріїв (наприклад, робота, відпочинок, вечірнє освітлення). Завдяки можливості збереження профілів яскравості, система може автоматично перемикатися між ними залежно від часу доби або зовнішніх умов. При цьому користувач має змогу змінювати сценарії вручну через мобільний додаток або панель керування.

У таблиці 2.1 наведено порівняння найбільш поширених типів контролерів та димерів за основними технічними параметрами, що мають значення при виборі апаратної платформи для розумного освітлення.

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика контролерів і димерів

Пристрій	Тип інтерфейсу	Живлення	Підтримка ШІМ	Додаткові функції	Сумісність
Arduino Uno	USB, GPIO	5 В	Так	Просте програмування	PWM-димери
ESP8266	Wi-Fi, GPIO	3,3 В	Так	Хмарна інтеграція, ОТА-оновлення	PWM, MQTT
Raspberry Pi	Wi-Fi, LAN, GPIO	5 В (2.5–3 А)	Так	Підтримка Home Assistant	PWM, I2C, SPI
Димер АС 220 В	Фазовий (симістор)	220 В АС	Ні	Регулювання змінної напруги	Світлодіоди 220 В
PWM-димер	PWM (0–100%)	12/24 В DC	Так	Плавна зміна яскравості	Світлодіоди DC

Залежно від типу джерела світла та умов експлуатації обирають відповідну пару контролер – димер. Для низьковольтного освітлення на основі світлодіодних стрічок доцільно використовувати PWM-димери з живленням 12 або 24 В. Для звичайних ламп на 220 В застосовують фазові димери, які

вимагають ретельного підбору навантаження та обов'язково – електричної ізоляції.

У сучасних системах керування освітленням димери здатні не лише регулювати яскравість, а й збирати статистику споживання, реагувати на аварійні сигнали (наприклад, відсутність живлення), мати інтерфейси зв'язку для передачі даних до контролера або хмари. Це дозволяє системі адаптуватися до змін і підвищувати енергоефективність шляхом гнучкого керування навантаженням (рис. 2.2).

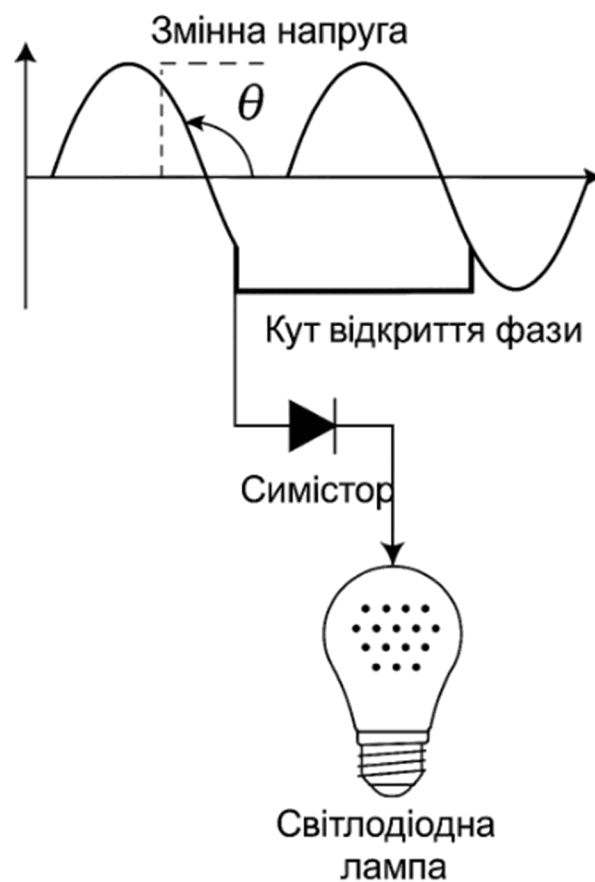


Рисунок 2.2 – Принцип роботи димера з фазовим керуванням на базі симістора

Таким чином, контролери та димери є критично важливими елементами адаптивної системи освітлення. Їх правильна взаємодія забезпечує не лише енергозбереження, а й підвищення комфорту користувача за рахунок динамічного регулювання освітлення. Надійність та розширюваність таких систем значною мірою залежить від обраних апаратних рішень та їхньої програмної підтримки.

2.3 Датчики для системи адаптивного освітлення

Світловий датчик – це пасивний пристрій, який перетворює світлову енергію у видимому або інфрачервоному діапазоні на електричний сигнал. Такі пристрої часто називають оптоелектронними, адже вони здійснюють перетворення фотонів на електрони, тобто забезпечують трансформацію світлової енергії в електричну. У процесі роботи світлові сенсори формують сигнал, що відображає інтенсивність освітлення, вимірюючи енергію випромінювання у вузькому спектральному діапазоні – від інфрачервоного до ультрафіолетового.

Залежно від принципу дії світлочутливі елементи поділяються на дві великі категорії. До першої належать ті, що генерують електричний струм або напругу під впливом світлового випромінювання. У таких пристроях світлова енергія безпосередньо перетворюється на електричну. Наприклад, фотоелементи генерують електрорушійну силу, пропорційну енергії поглинутого світла. При падінні світла на межу двох напівпровідників виникає напруга близько 0,5 В, і саме такі елементи застосовуються, зокрема, в сонячних батареях. Ще одним прикладом є фотоємисійні пристрої, у яких фотони вивільняють електрони з поверхні фоточутливого матеріалу, як-от цезій. Чим вища частота світла, тим більша енергія фотонів, і відповідно – ефективніше перетворення.

До другої категорії належать пристрої, що змінюють свої електричні властивості під впливом світла. Наприклад, фоторезистори змінюють свій електричний опір: при збільшенні освітленості опір падає, що зумовлює підвищення провідності. Такий ефект фотопровідності проявляється у сенсорах на основі сульфиду кадмію, зокрема в LDR (light-dependent resistor). Іншим прикладом є фотодіоди – напівпровідникові елементи, у яких світло впливає на струм у зворотно зміщеному р-п-переході. Фототранзистори, у свою чергу, є вдосконаленою формою фотодіодів і дозволяють підсилювати фотоелектричний сигнал завдяки внутрішньому посиленню струму.



Рисунок 2.3 – Класифікація світлових датчиків за принципом дії

Датчики присутності – це пристрої, що виявляють рух у приміщенні та фіксують наявність людини для автоматичного керування освітленням, температурою або вентиляцією. Вони працюють на основі інфрачервоних, ультразвукових, мікрохвильових та інших технологій. Поняття охоплює широкий спектр пристроїв – від PIR-датчиків і дверних перемикачів до клавіатурних замків у готелях та інтелектуальних лічильників електроенергії. Такі сенсори активно використовуються для енергоощадності, автоматизованого контролю та дотримання будівельних норм.

До основних типів належать пасивні інфрачервоні (PIR) датчики, які реагують на зміну теплового випромінювання. Вони фіксують раптову появу об'єкта з температурою, відмінною від фонового середовища, наприклад, стіни. Датчики навколишнього середовища можуть визначати присутність людини за змінами температури, вологості чи концентрації вуглекислого газу.

Ультразвукові та мікрохвильові датчики працюють за принципом доплерівського зсуву: вони надсилають хвилі в простір і аналізують відбиті сигнали. Якщо сигнал змінюється, система фіксує присутність і активує відповідне навантаження. При незмінному сигналі пристрій вважає, що

приміщення порожнє, і вимикає споживачі. Мікрохвильові сенсори мають більшу чутливість і дальність у порівнянні з іншими типами.

У готелях використовуються слоти для світлових карток, які вмикають освітлення та кліматичні системи лише за наявності картки-ключа. Інтелектуальні лічильники визначають присутність за змінами у споживанні енергії, характерними для зайнятих або порожніх будівель. Також використовуються прості дверні вимикачі та сенсори звуку.

2.3.1 Датчик освітленості LM393

Модуль освітлення LM393 застосовується для вимірювання інтенсивності світла в різних пристроях. Вимірювання здійснюється за допомогою фоторезистора – світлочутливого елемента, опір якого змінюється залежно від рівня освітленості [10].

Існують два типи модулів, які зовні відрізняються лише кількістю контактів – три- та чотириконтактні. Чотириконтактний модуль має додатковий аналоговий вихід, що дозволяє зчитувати значення безпосередньо з фоторезистора. В обох варіантах фоторезистор змінює напругу в колі залежно від кількості світла, яке на нього потрапляє.

Модуль із чотирма виходами має два контакти живлення та два вихідні – аналоговий і цифровий. З аналогового контакту «A0» можна зчитувати напругу в межах 0–3,3 В або 0–5 В, залежно від джерела живлення. Цифровий вихід подає сигнал рівня «0» або «1», чутливість якого регулюється за допомогою вбудованого потенціометра, що налаштовується відповідно до освітленості. Вихідний струм перевищує 15 мА, що дозволяє підключати модуль безпосередньо до входу одноканального або двоканального реле без використання контролера. Принципова схема роботи модуля LM393 з трьома та чотирма контактами наведена на рисунку 2.4 та рисунку 2.5.

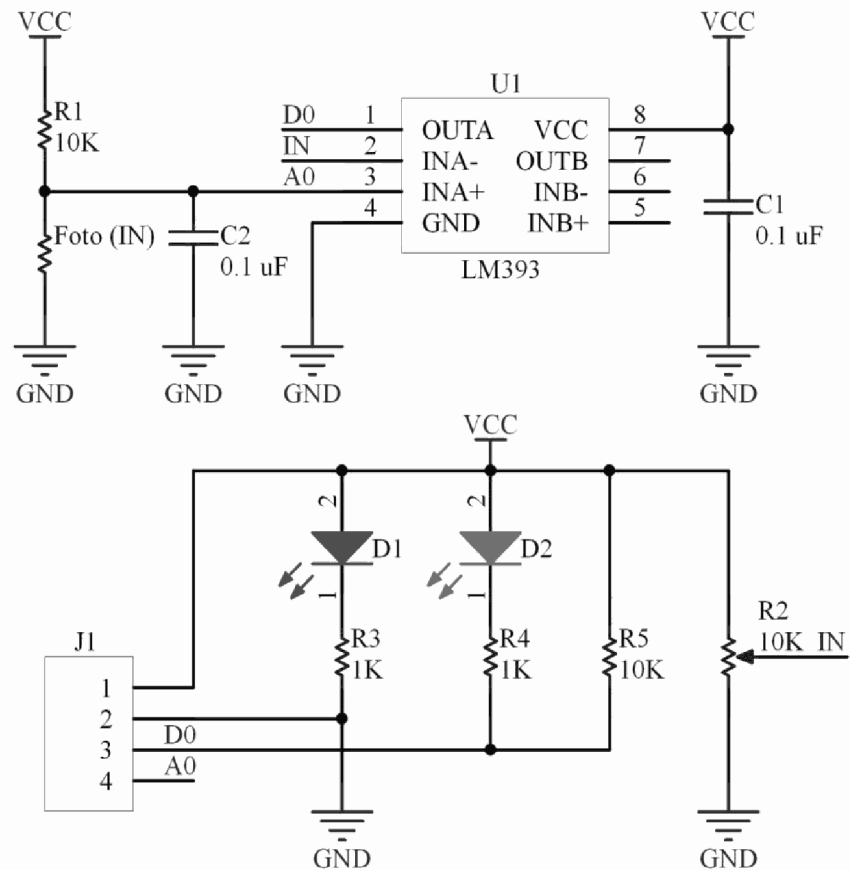


Рисунок 2.4 – Електрична схема модуля LM393 з чотирма виводами

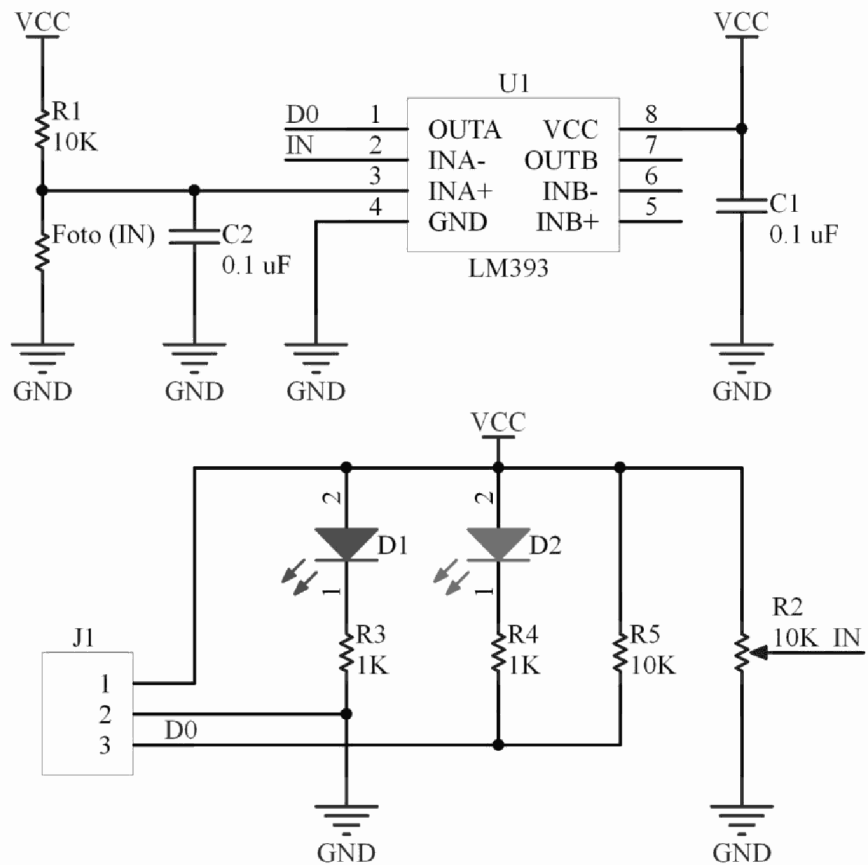


Рисунок 2.5 – Електрична схема модуля освітленості LM393 з трьома виводами

2.3.2 Датчик освітленості BH1750

BH1750 – це цифровий датчик освітленості, що зазвичай використовується в мобільних пристроях для автоматичного регулювання яскравості екрана залежно від рівня зовнішнього освітлення. Він здатний точно вимірювати інтенсивність світла в межах до 65 535 люкс.

Датчик можна застосовувати для керування підсвіткою РК-дисплеїв, а також у системах автоматичного вмикання/вимикання фар автомобіля. Завдяки використанню інтерфейсу I²C BH1750 легко підключається до мікроконтролера через виводи SCL та SDA. Значення освітленості в люксах зчитуються без потреби в додаткових обчисленнях, оскільки датчик одразу видає цифрові дані, отримані на основі інтенсивності світлового потоку.

Пристрій працює в діапазоні напруги 2,4–3,6 В (типово 3,0 В) і споживає дуже малий струм – лише 0,12 мА. Показники вимірювань практично не залежать від типу джерела світла, а вплив інфрачервоного випромінювання мінімальний. Вбудований цифровий перетворювач дозволяє перетворювати аналогові сигнали освітленості в цифрову форму. Похибка вимірювань становить близько $\pm 20\%$, що забезпечує достатню точність для більшості прикладних задач (рис. 2.6).

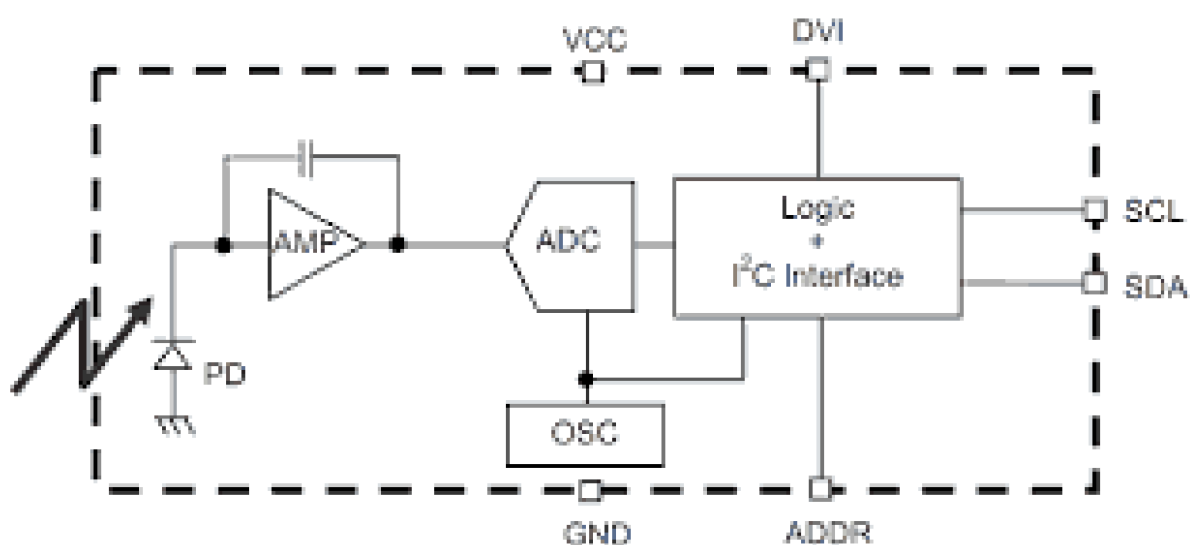


Рисунок 2.6 – Електрична схема модуля освітленості BH1750

2.3.3 Датчик присутності HC-SR501

Датчик руху HC-SR501 PIR, також відомий як піроелектричний або пасивний інфрачервоний, використовується для виявлення руху за зміною інфрачервоного випромінювання. Це компактний модуль розміром приблизно $1,2 \times 0,9$ дюйма з PIR-датчиком, встановленим на передній частині та прикритим білою лінзою Френеля, яка збільшує чутливість і водночас захищає сенсор. На звороті плати розташовані всі необхідні електронні компоненти для обробки сигналу [12].

Принцип роботи полягає в реєстрації змін теплового випромінювання, що виникає при русі людини або тварини. Коли піроелектричний сенсор фіксує таку зміну, він генерує сигнал, який обробляється мікросхемою BISS0001 – надійним енергоефективним чіпом, виготовленим за технологією CMOS. Якщо виявлення руху підтверджено, мікросхема формує логічний високий сигнал на заданий проміжок часу. Тривалість цього сигналу можна регулювати за допомогою вбудованого змінного резистора.

Модуль має широкий робочий діапазон напруги (від 4,8 до 20 В), низьке енергоспоживання – лише 50 мкА в режимі очікування та 65 мА при активній роботі. Він характеризується високою надійністю, можливістю регулювання чутливості та часу затримки, і може працювати як автономно, так і з мікроконтролерами на кшталт Arduino чи Raspberry Pi.

Серед додаткових функцій – опціональне керування за рівнем освітлення та температурою. Модуль побудований на базі якісної мікросхеми BISS0001. Кут виявлення становить 120° , а дальність – від 3 до понад 7 метрів. Він легко інтегрується як із цифровими, так і з аналоговими схемами (рис. 2.7).

Таким чином, датчик HC-SR501 є універсальним рішенням для систем безпеки, автоматизації освітлення та інших IoT-застосувань, де необхідне виявлення руху. Його простота підключення, наявність стандартного цифрового виходу та сумісність із більшістю мікроконтролерів робить його популярним серед розробників як аматорських, так і професійних проєктів. Завдяки доступній вартості та стабільній роботі модуль активно використовується у різноманітних розумних пристроях.

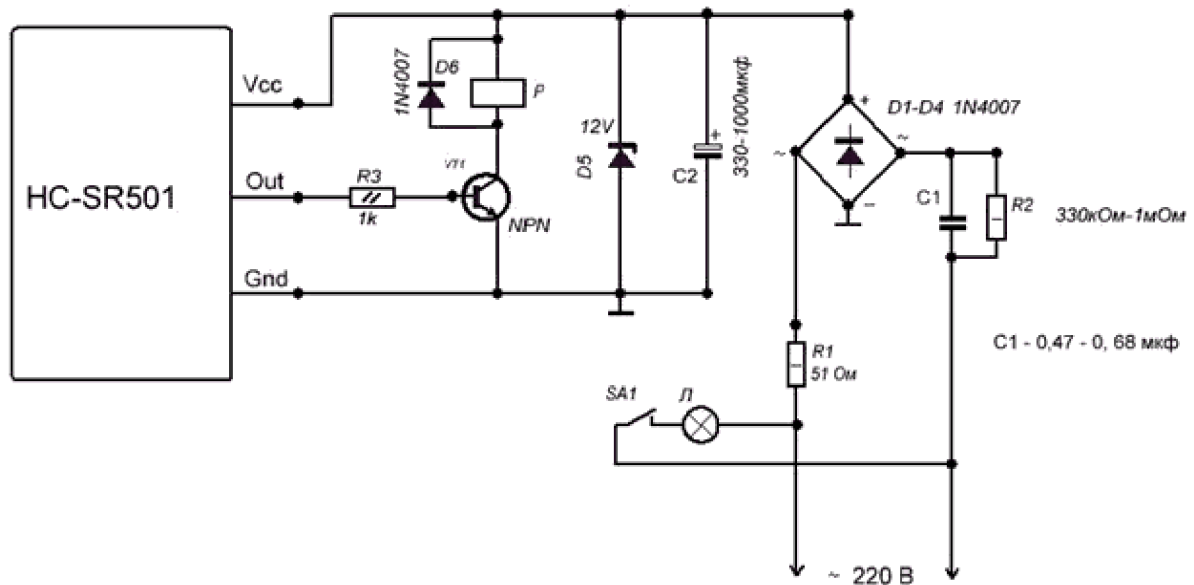


Рисунок 2.7 – Електрична схема модуля присутності HC-SR501

2.4 Варіанти зв'язку у системах керування

Адаптивні системи керування освітленням поділяються на два типи: системи керування локальним (місцевим) освітленням і системи керування загальним освітленням. Локальне освітлення застосовується у робочих зонах або безпосередньо на робочих місцях – там, де потрібен підвищений рівень світла. Такі системи зазвичай мають спрощену структуру, оскільки відповідають лише за одне або кілька джерел світла. Розробка й впровадження адаптивної системи локального освітлення є актуальним завданням, особливо якщо робоче місце використовується регулярно. Така система може бути реалізована з використанням датчиків освітленості (або присутності) та модулів обробки даних (рис. 2.8).



Рисунок 2.8 – Структурна схема локальної підсистеми керування освітленням

Для організації зв'язку між модулями системи доцільно використовувати дротові з'єднання. Таке підключення може бути реалізоване за допомогою інтерфейсу RS-485 або кабелю UTP5. Оскільки модулі системи розташовані на відносно невеликій відстані один від одного, таке з'єднання забезпечує вищу швидкість передачі даних і меншу ймовірність помилок. Основним недоліком цього способу є необхідність прокладання проводів під час монтажу, що ускладнює конструктивну реалізацію.

Адаптивна система керування загальним освітленням потребує більше компонентів, оскільки охоплює всю площу приміщення, на відміну від локалізованого освітлення. Такі системи застосовуються в житлових, офісних, навчальних та виробничих приміщеннях. Адаптивне освітлення відіграє важливу роль у зниженні енергоспоживання. Система включає датчики освітленості та присутності, мережевий шлюз, контролер із вбудованим програмним забезпеченням для обробки сигналів та прийняття рішень щодо ввімкнення або вимкнення світла, а також виконавчі елементи (рис. 2.9). Для розширеного керування система може мати сервер, на якому відображається стан пристроїв, а також можливість змінювати параметри роботи системи.

Кількість компонентів системи залежить від кількості джерел світла. Систему можна реалізувати з використанням різних топологій, зокрема типу «зірка». Проте централізована структура може збільшити ймовірність помилок під час передавання сигналів у разі використання бездротових технологій.

Існує кілька способів організації зв'язку між компонентами адаптивної системи керування освітленням, які поділяються на дротові та бездротові. Кожен із них має свої переваги й обмеження, тому вибір залежить від призначення системи та її умов експлуатації.

Одним із поширених варіантів дротового з'єднання є стандарт RS-485 – це інтерфейс для передавання даних у двопровідному напівдуплексному багатоточковому послідовному каналі з використанням витої пари. Диференціальна природа сигналу забезпечує високу стійкість до завад та можливість передавання даних на великі відстані.

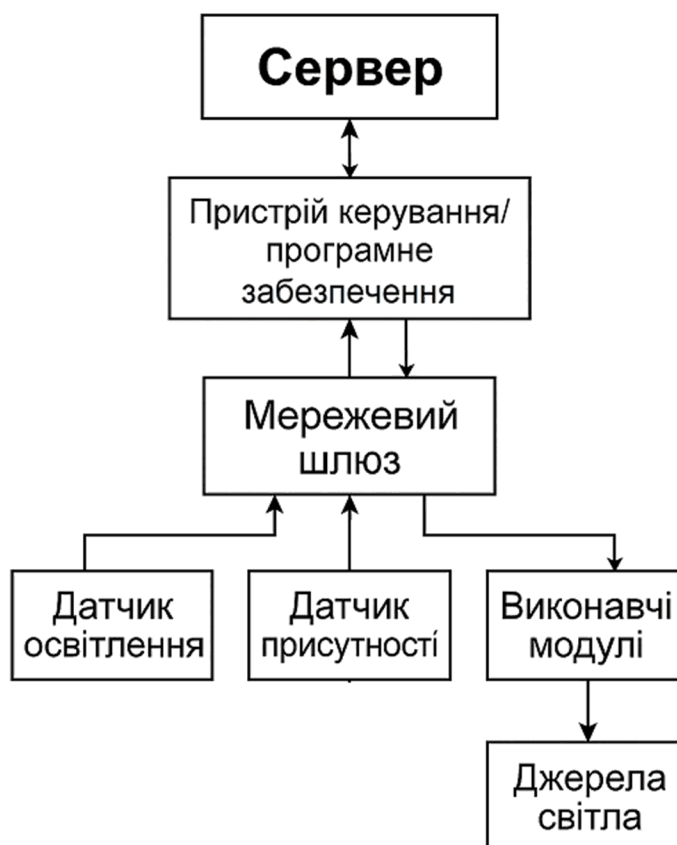


Рисунок 2.9 – Структурна схема системи керування загальним освітленням

Мережу RS-485 можна побудувати у двох конфігураціях: «двопровідній» або «чотирипровідній». У першому випадку передавач і приймач кожного пристрою з'єднуються однією витю парою. У другому – передача і прийом розділені на окремі лінії: головний порт передає дані всім підлеглим приймачам однією витю парою, а підлеглі пристрої надсилають відповіді головному приймачу іншою. У такій мережі кожен пристрій має адресу, що дає змогу здійснювати незалежну комунікацію. Оскільки лише один пристрій може активувати лінію в певний момент, драйвер необхідно перевести в режим високого опору (тристановий режим), коли він не передає сигнал [12].

Альтернативою може бути використання кабелю UTP категорії 5, який також підходить для організації дротового зв'язку між модулями системи. Перевагами дротового підключення є висока стійкість до завад, низька ймовірність помилок під час передавання сигналу, стабільна швидкість і підвищена безпека. Водночас дротові з'єднання менш ефективні на великих відстанях через втрати сигналу внаслідок внутрішнього опору кабелю.

Бездротове підключення в адаптивних системах керування може здійснюватися через радіозв'язок або Wi-Fi. Зазвичай одного каналу зв'язку недостатньо для обслуговування всієї системи, тому ефективною є комбінація обох варіантів.

Для реалізації радіозв'язку часто використовують модуль nRF24L01 або його аналоги. Це однокристальний радіоприймач для діапазону ISM 2,4–2,5 ГГц, що містить синтезатор частоти, підсилювач, кварцовий генератор, модулятор, демодулятор та протокол ShockBurst. Налаштування виконується через інтерфейс SPI. Модуль вирізняється низьким енергоспоживанням – 9,0 мА при -6 дБм та 12,3 мА в режимі прийому, з можливістю переходу в енергозберігаючі стани. З його допомогою можна створити мережу будь-якої топології: шину, зірку або сітку.

Wi-Fi також підходить для зв'язку між датчиками, виконавчими механізмами й контролерами, наприклад Raspberry Pi, у топології «зірка» з центральним вузлом. Крім того, Wi-Fi забезпечує доступ до Інтернету. Якщо система не має централізованого контролера, датчики й виконавчі пристрої можуть взаємодіяти безпосередньо із сервером.

Інтернет-з'єднання через Wi-Fi-роутер також реалізується у вигляді топології «зірка», де в центрі знаходиться сервер в Інтернеті. Модуль керування може підключатися до мережі через Wi-Fi для доступу до віддалених серверів і хмарних платформ.

Основна перевага бездротових з'єднань – це простота встановлення та гнучкість у розміщенні компонентів. Пристрої можуть знаходитися на значній відстані один від одного, підтримуючи стабільний зв'язок без втрат, які характерні для дротових ліній через опір провідників.

РОЗДІЛ 3

ПРОЄКТУВАННЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ

3.1. Архітектура системи та середовище керування

Адаптивні системи керування освітленням поділяють на три рівні: високий, середній та низький (рис. 3.1).

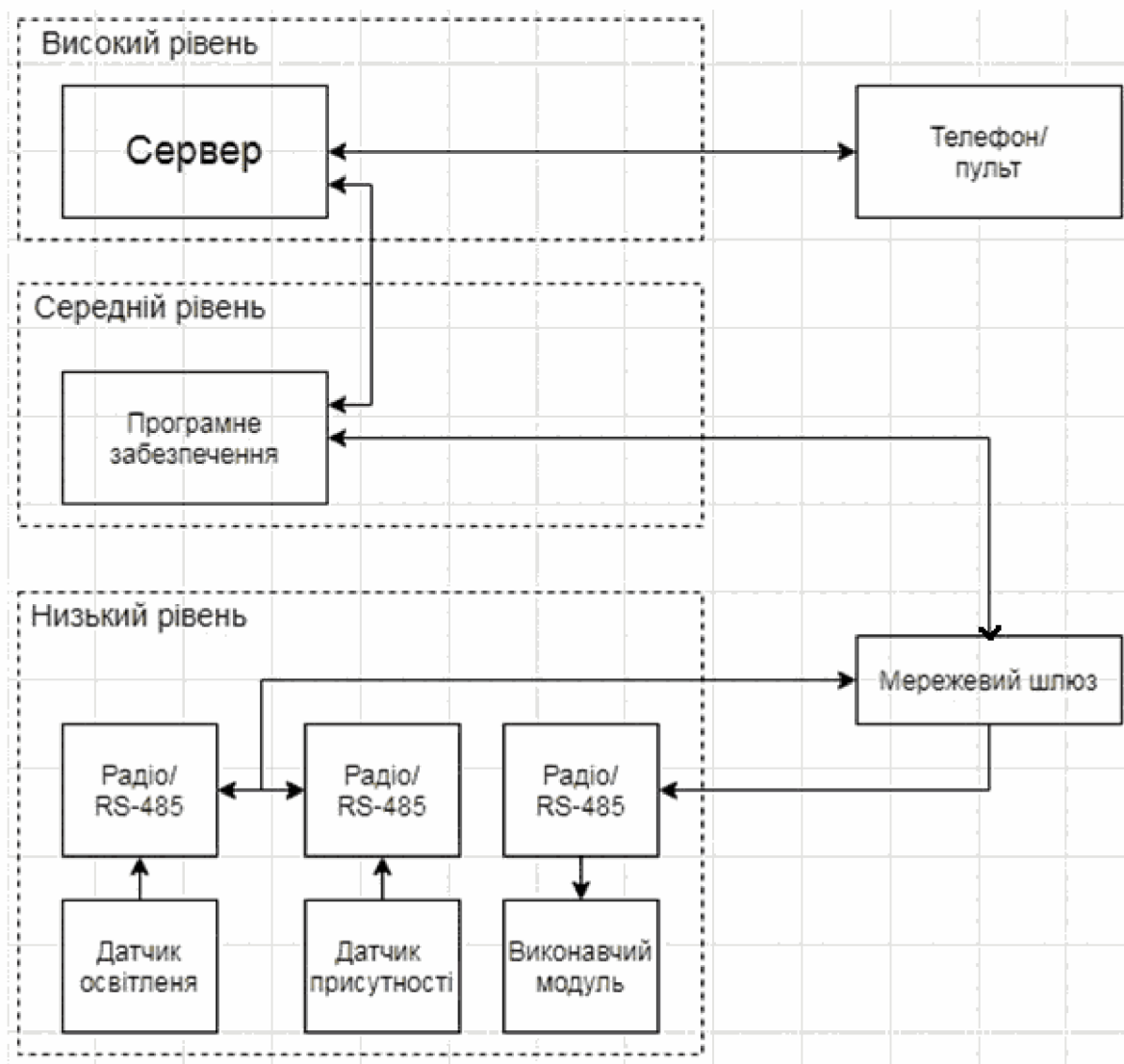


Рисунок 3.1 – Ієрархічна модель рівнів адаптивної системи керування освітленням

Нижній рівень складається з датчиків і виконавчих механізмів, що використовуються системою. Виконавчі модулі, зазвичай реле, передають сигнали про стан освітлення або присутність людей до мережевого шлюзу за допомогою радіозв'язку або стандарту RS-485. Сигнали також надходять від шлюзу до виконавчих пристроїв. Мережеві шлюзи узгоджують роботу нижнього і середнього рівнів, виконуючи функції маршрутизатора.

Середній рівень представлений програмним забезпеченням, яке реалізується на ПК або модулі Raspberry Pi. Воно обробляє сигнали від датчиків освітлення і присутності та приймає рішення про вмикання чи вимикання світла. Зазвичай використовують середовища на кшталт OpenHAB, Home Assistant або Majordomo. Програма отримує дані через шлюз, обробляє їх відповідно до заданих сценаріїв і надсилає команди на реле.

Верхній рівень реалізується у вигляді сервера, що забезпечує дистанційний доступ до системи через мобільний телефон чи інший пристрій з підключенням до Інтернету, дозволяючи керувати освітленням у режимі реального часу.

На ринку існує чимало рішень для домашньої автоматизації та пристроїв Інтернету речей (IoT), кожне з яких має власний підхід до конфігурації та налаштування. Вони ефективні у межах запропонованих виробником сценаріїв, однак користувачі часто потребують взаємодії між різними системами, яка зазвичай не передбачена «з коробки». Саме цю проблему вирішує openHAB – платформа, яка ставить користувача в центр уваги та дозволяє системам обмінюватися даними незалежно від протоколів і виробників.

Такий підхід також гарантує конфіденційність: усі дані, включно з командами і значеннями датчиків, належать користувачеві, який сам вирішує, чи зберігати їх локально чи надсилати зовні. За замовчуванням віддалений доступ відсутній, система функціонує в межах локальної мережі і не вимагає підключення до Інтернету. Тому openHAB нерідко називають справжнім «Інтранетом речей».

OpenHAB не замінює існуючі рішення, а розширює їх функціональність, виступаючи «системою систем». При цьому конфігурація самих підсистем,

зокрема «парування» чи прямі з'єднання пристроїв, виконується поза межами openHAB. Платформа зосереджується на повсякденному управлінні, інтегруючи пристрої та дані у спільне середовище.

Основу openHAB становить концепція «елементів» – абстрактних одиниць функціональності, що можуть представляти як фізичні пристрої, так і віртуальні джерела (наприклад, веб-сервіси або результати обчислень). Це дозволяє формувати правила, інтерфейси та автоматизацію без прив'язки до конкретних пристроїв – IP-адрес, ідентифікаторів тощо. Завдяки цьому заміна технологій не потребує змін у логіці чи дизайні інтерфейсу.

Однією з ключових переваг платформи є її модульна архітектура (рис. 3.2), що дозволяє додавати нові можливості – наприклад, підтримку нових пристроїв або систем – без перезапуску. Саме ця гнучкість стала основою для активного розвитку спільноти користувачів та розробників openHAB.

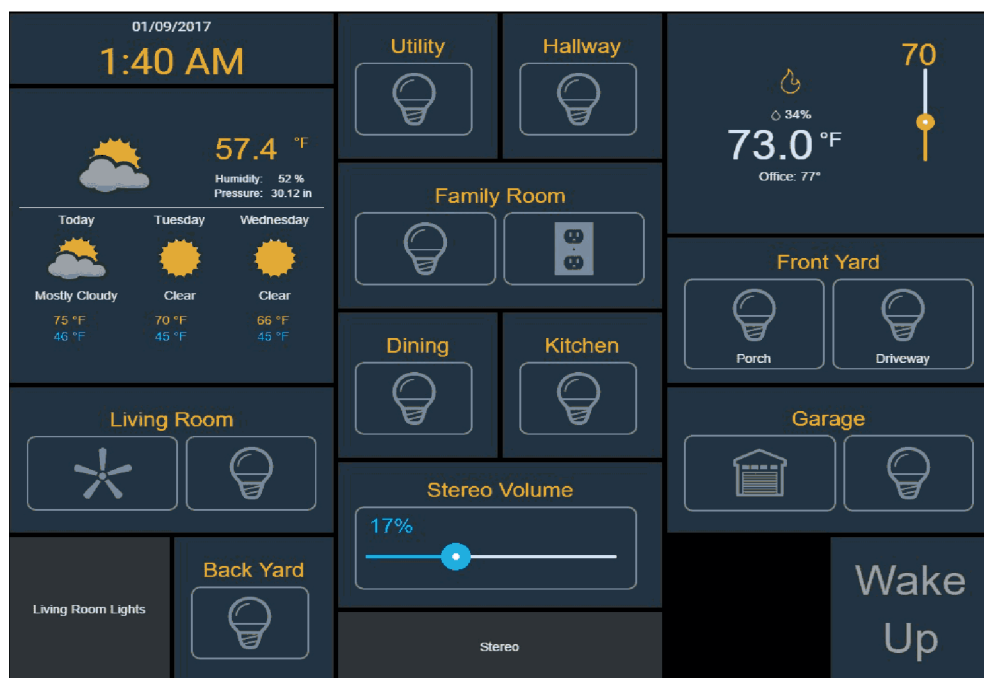


Рисунок 3.2 – Приклад користувацького інтерфейсу з модульною структурою

Home Assistant – це безкоштовне програмне забезпечення з відкритим кодом для домашньої автоматизації, створене як центральна система керування «розумним будинком». Написане на Python, воно орієнтоване на локальний контроль і конфіденційність. Станом на травень 2024 року Home Assistant

підтримував понад 2100 інтеграцій і може працювати з різними IoT-технологіями, платформами й сервісами. Освітлення, клімат, мультимедіа та побутова техніка можуть контролюватися локально або дистанційно за допомогою сценаріїв, автоматизацій, голосових команд, мобільного застосунку (рис. 3.3).

Це рішення виконує функції універсального контролера для керування розумними пристроями, безпековими системами, сигналізацією та енергомоніторингом. Home Assistant дозволяє створювати складні сценарії автоматизації на основі часу, подій, статусу пристроїв, із можливістю сповіщень, голосового керування й ручного керування в режимі реального часу.

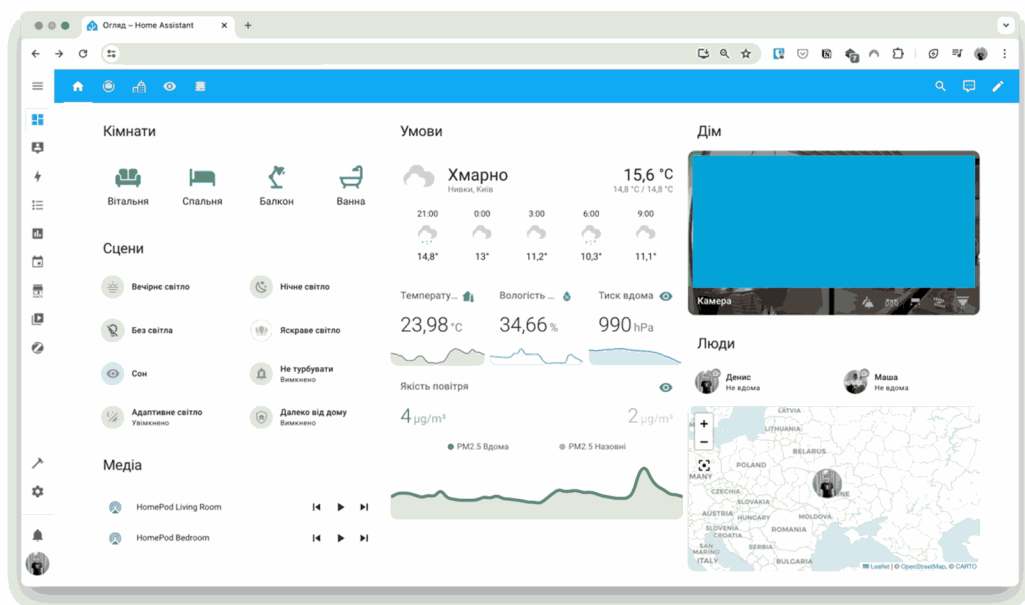


Рисунок 3.3 – Інформаційна панель Home Assistant

Програмне забезпечення розгортається локально, забезпечуючи пряме або опосередковане підключення до IoT-пристроїв, концентраторів або хмарних сервісів різних виробників – як відкритих, так і закритих екосистем. Його модульна архітектура підтримує численні «компоненти інтеграції», сумісні з такими платформами, як Amazon Alexa, Apple HomeKit, Google Assistant, Zigbee, Z-Wave, Philips Hue, Xiaomi, Tuya, MQTT, SmartThings, KNX, IFTTT, Sonoff, IKEA Trådfri, Yale та інші [16].

3.2. Структурна схема системи та організація взаємодії

Структурна схема системи адаптивного керування освітленням (рис. 3.4) розрахована на одне джерело світла. У разі збільшення кількості джерел зростатиме й кількість актуаторів і датчиків освітленості – залежно від конкретного завдання. Діаграма побудована на основі трирівневої ієрархії, описаної в розділі 3.1.

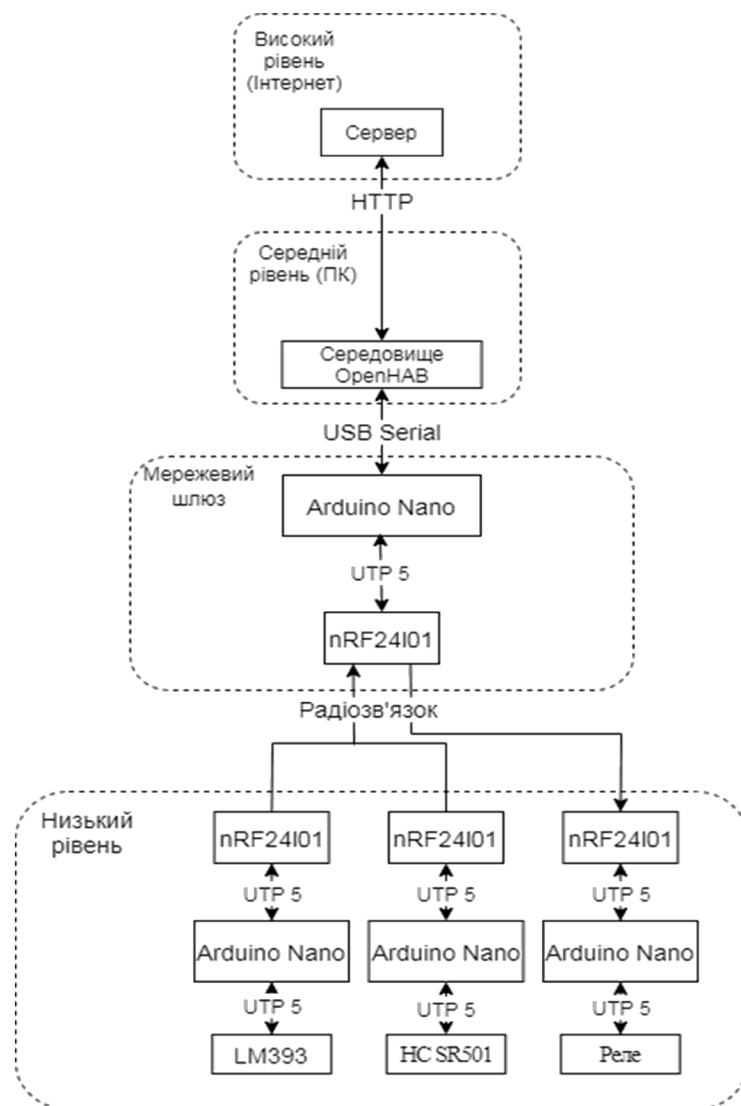


Рисунок 3.4 – Структурна схема адаптивної системи керування освітленням

На нижньому рівні системи розміщено датчики присутності, освітленості та реле. Датчик світла LM393 – це простий фоторезисторний модуль з аналоговим і цифровим виходами, де цифровий має регульований поріг

спрацювання через потенціометр. Після виявлення людини в зоні освітлення, активується датчик присутності, і дані передаються на середній рівень системи через мережевий шлюз.

Середній рівень реалізується на ПК із середовищем OpenHAB, що на основі порівняння фактичної та заданої освітленості приймає рішення про увімкнення або вимкнення додаткового світла. Оптимальною умовою для активації освітлення є наявність людини в зоні дії системи.

Для бездротової передачі між рівнями використовується радіомодуль nRF24L01 – недорогий трансивер, сумісний з більшістю мікроконтролерів. Він працює на частоті 2,4 ГГц, підтримує швидкість від 250 Кбіт/с до 2 Мбіт/с і радіус дії до 100 м на відкритому просторі. Модуль підтримує 125 каналів, кожен з яких може забезпечити до шести одночасних з'єднань, а енергоспоживання під час передачі становить лише 12 мА. Живлення можливе від 1,9 до 3,6 В, а логічні рівні 5 В дозволяють напряму підключати його до Arduino без перетворювачів.

Розроблена система використовує комбіновану топологію та типи зв'язку. На нижньому рівні реалізовано топологію «зірка» з дротовим з'єднанням за стандартом RS-485 через кабелі UTP5, що забезпечує стабільну швидкість, надійність і захист від завад.

3.3 Програмна реалізація системи

Адаптивні системи керування освітленням функціонують за попередньо заданим алгоритмом (рис. 3.5), який програмно визначається після встановлення системи.

За допомогою адаптивної системи керування освітленням середнього рівня, тобто ПК з установленим середовищем OpenHAB, можна перевірити стан підключення датчиків освітлення та присутності. Для активації системи

необхідно програмно встановити порогове значення освітленості робочої зони. У навчальних приміщеннях освітлення має становити 150 лк для ламп розжарювання та 300 лк для люмінесцентних. У житлових кімнатах і майстернях – відповідно 200–400 лк та 300–500 лк [27].

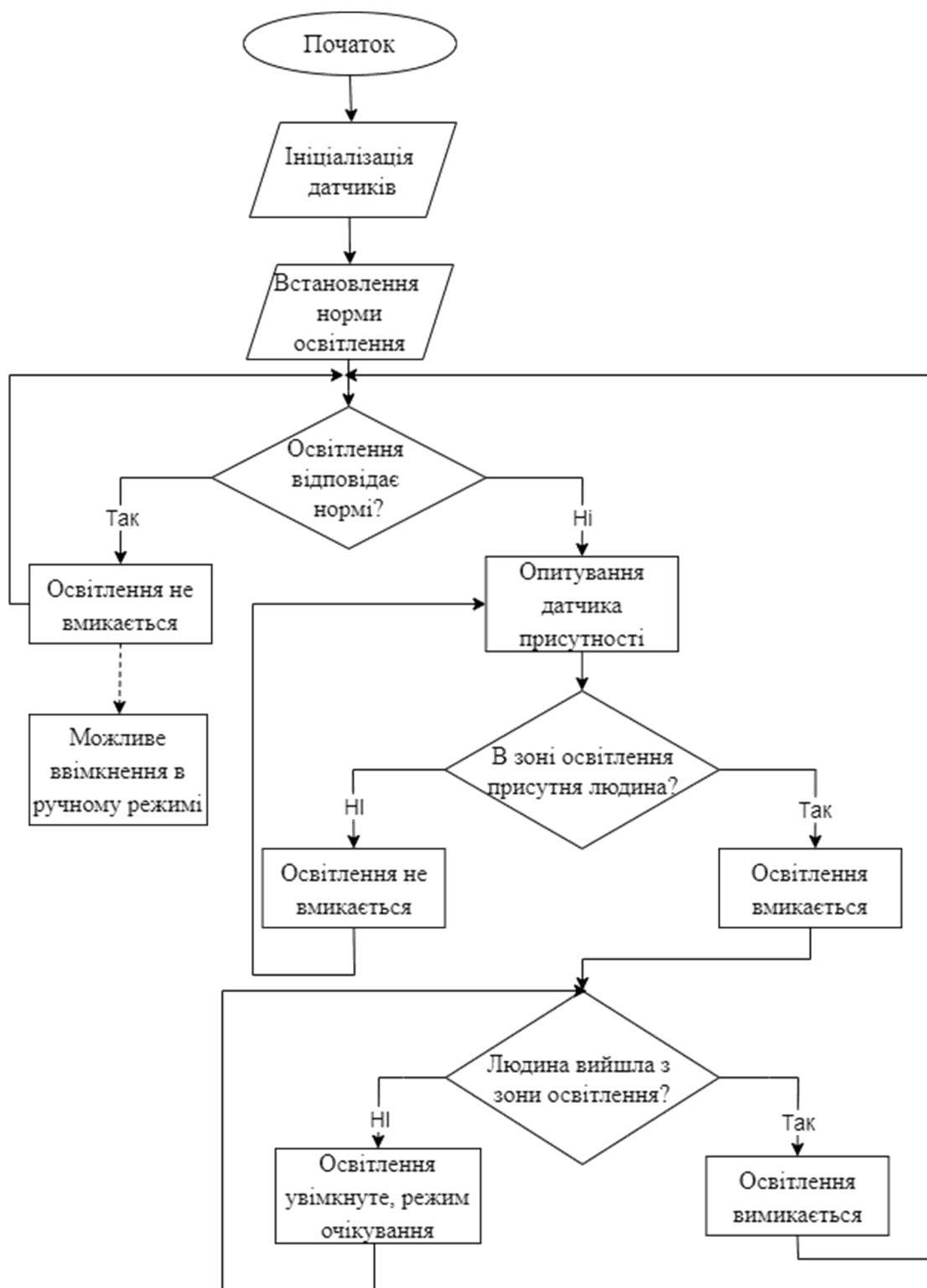


Рисунок 3.5 – Блок-схема алгоритму роботи адаптивної системи

Відповідно до заданого порогу система, під час опитування датчиків освітленості, приймає рішення про ввімкнення або вимкнення додаткового освітлення. Якщо рівень світла є достатнім, освітлення не вмикається, хоча користувач за потреби може активувати його вручну. Якщо освітленість недостатня, система перевіряє дані з датчика присутності: за наявності людини в зоні дії світло вмикається автоматично. Після цього датчик переходить у режим очікування і вимикає світло, щойно людина покидає зону. Далі система знову повертається до опитування датчика освітленості.

Щоб система функціонувала коректно, кожен модуль (відповідно до блок-схеми) має бути запрограмований на виконання заданої функції.

3.3.1 Програмування компонентів нижнього рівня

Перш ніж почати використання, всі компоненти системи мають бути запрограмовані для взаємодії між собою. Програмування здійснюється на системному рівні шляхом завантаження коду в контролер – у цьому випадку Arduino. Контролер зчитує дані з датчиків і передає їх через мережевий шлюз на проміжний рівень для подальшої обробки.

Робота починається з налаштування нижнього рівня: програмується взаємодія Arduino з датчиками LM393, HCSR501 та реле. Після цього необхідно запрограмувати радіомодулі Arduino і nRF24L01 для передачі даних на нижньому рівні та приймання їх мережею через шлюз.

Для організації зв'язку між Arduino та датчиком освітленості LM393 можна використати такий код зображений на рисунку 3.6. Цей код реалізує роботу датчика освітленості на базі платформи MySensors, який періодично зчитує рівень освітлення в приміщенні та передає дані на шлюз, звідки вони можуть надходити до системи розумного будинку.

Спочатку підключається бібліотека MySensors.h, яка забезпечує взаємодію мікроконтролера з мережею датчиків. Датчику освітлення присвоюється ідентифікатор CHILD_ID_LIGHT, а також визначається

аналоговий пін, до якого він підключений. Змінна SLEEP_TIME задає інтервал між вимірюваннями, що становить 30000 мілісекунд, тобто 30 секунд.

У функції presentation() відправляється інформація про пристрій – його назва ("Light Sensor") та версія прошивки ("1.0"), після чого відбувається реєстрація сенсора освітленості як дочірнього пристрою типу S_LIGHT_LEVEL. Це потрібно для того, щоб контролер міг коректно сприймати значення, які надходять із сенсора. Основна робота виконується у функції loop()

```
#include <MySensors.h>

#define CHILD_ID_LIGHT 0
#define LIGHT_SENSOR_ANALOG_PIN 0

uint32_t SLEEP_TIME = 30000; // Час очікування між зчитуваннями (у мілісекундах)

MyMessage msg(CHILD_ID_LIGHT, V_LIGHT_LEVEL);
int lastLightLevel;

void presentation() {
    // Надсилання інформації про версію ескізу до шлюзу та контролера
    sendSketchInfo("Light Sensor", "1.0");

    // Реєстрація всіх датчиків на шлюзі (створюються як дочірні пристрої)
    present(CHILD_ID_LIGHT, S_LIGHT_LEVEL);
}

void loop() {
    int16_t lightLevel = (1023 - analogRead(LIGHT_SENSOR_ANALOG_PIN)) / 10.23;
    Serial.println(lightLevel);

    if (lightLevel != lastLightLevel) {
        send(msg.set(lightLevel));
        lastLightLevel = lightLevel;
    }

    sleep(SLEEP_TIME);
}
```

Рисунок 3.6 – Код зчитування рівня освітлення з датчика LM393

Для організації зв'язку між Arduino та датчиком присутності HC-SR501 можна використати такий код (рис. 3.7). Цей код призначений для роботи з датчиком руху на базі платформи MySensors. Він зчитує стан цифрового входу, передає інформацію про наявність або відсутність руху на шлюз і контролер системи розумного будинку. У функції `setup()` пін 3 налаштовується як вхід, а в `presentation()` реєструється сенсор типу `S_MOTION` із назвою "Motion Sensor". У циклі `loop()` виконується зчитування стану датчика; якщо зафіксовано рух, відправляється повідомлення "1", інакше – "0".

```
#include <MySensors.h>

// Інтервал між звітами (у мілісекундах)
const uint32_t SLEEP_TIME = 120000;

// Цифровий вхід, підключений до датчика руху
#define DIGITAL_INPUT_SENSOR 3

// Ідентифікатор дочірнього пристрою
#define CHILD_ID 1

// Створення повідомлення про рух
MyMessage msg(CHILD_ID, V_TRIPPED);

void setup() {
    // Налаштування цифрового входу як вхідного пину
    pinMode(DIGITAL_INPUT_SENSOR, INPUT);
}

void presentation() {
    // Надсилання інформації про назву та версію пристрою
    sendSketchInfo("Motion Sensor", "1.0");

    // Реєстрація дочірнього пристрою типу S_MOTION
    present(CHILD_ID, S_MOTION);
}

void loop() {
    // Зчитування стану датчика руху
    bool motionDetected = digitalRead(DIGITAL_INPUT_SENSOR) == HIGH;

    // Вивід стану в серійний монітор
    Serial.println(motionDetected);

    // Надсилання інформації про наявність руху
    send(msg.set(motionDetected ? "1" : "0"));

    // Перехід у сплячий режим з пробудженням за перериванням або таймером
    sleep(digitalPinToInterrupt(DIGITAL_INPUT_SENSOR), CHANGE, SLEEP_TIME);
}
```

Рисунок 3.7 – Код зчитування сигналу з датчика присутності HC-SR501

Для організації зв'язку між Arduino та реле можна використати такий код (рис. 3.8, рис. 3.9). Цей код реалізує керування реле за допомогою кнопки. У функції `setup()` відбувається налаштування кнопки з використанням бібліотеки `Bounce2` для усунення дрібних коливань сигналу, а також реле, яке спочатку вимикається. З `EEPROM` зчитується попередній стан реле, що дозволяє зберігати його положення після перезавантаження. У функції `presentation()` відправляється інформація про пристрій до контролера з ідентифікатором і типом пристрою `S_LIGHT`.

```
#include <MySensors.h>
#include <Bounce2.h>

#define RELAY_PIN 4 // Номер цифрового входу/виходу Arduino для реле
#define BUTTON_PIN 3 // Номер цифрового входу/виходу Arduino для кнопки
#define CHILD_ID 1 // Ідентифікатор дочірнього пристрою

#define RELAY_ON 1
#define RELAY_OFF 0

Bounce debouncer = Bounce();
int oldValue = 0;
bool state;

MyMessage msg(CHILD_ID, V_LIGHT);

void setup() {
    // Налаштування кнопки
    pinMode(BUTTON_PIN, INPUT);
    digitalWrite(BUTTON_PIN, HIGH); // Внутрішній підтягувальний резистор
    debouncer.attach(BUTTON_PIN);
    debouncer.interval(5);

    // Налаштування реле
    pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
    digitalWrite(RELAY_PIN, RELAY_OFF); // Початковий стан

    // Відновлення попереднього стану з EEPROM
    state = loadState(CHILD_ID);
    digitalWrite(RELAY_PIN, state ? RELAY_ON : RELAY_OFF);
}

void presentation() {
    // Надсилання інформації до контролера
    sendSketchInfo("Relay & Button", "1.0");
    present(CHILD_ID, S_LIGHT);
}
```

Рисунок 3.8 – Ініціалізація та налаштування пристроїв (`setup` та `presentation`)

```

void loop() {
    debouncer.update();
    int value = debouncer.read();

    if (value != oldValue && value == 0) {
        // Зміна стану реле на протилежний
        send(msg.set(state ? false : true), true);
    }

    oldValue = value;
}

void receive(const MyMessage &message) {
    if (message.isAck()) {
        Serial.println("Підтвердження отримано від шлюзу");
    }

    if (message.type == V_LIGHT) {
        // Зміна стану реле
        state = message.getBool();
        digitalWrite(RELAY_PIN, state ? RELAY_ON : RELAY_OFF);

        // Збереження нового стану
        saveState(CHILD_ID, state);

        Serial.print("Отримано зміну для сенсора: ");
        Serial.print(message.sensor);
        Serial.print(", Новий стан: ");
        Serial.println(message.getBool());
    }
}

```

Рисунок 3.9 – Основна логіка роботи (loop та receive)

В адаптивній системі керування освітленням зв'язок між нижнім рівнем і мережевим шлюзом має бути двонаправленим: дані від датчиків освітленості та присутності передаються до середнього рівня через шлюз, а потім сигнали керування – у зворотному напрямку (до виконавчих пристроїв або повторювачів).

Для бездротової передачі даних за допомогою модулів NRF24L01 умовно розділяють їх на передавачі та приймачі.

Нижче наведено приклад коду, який демонструє організацію двостороннього обміну даними між Arduino та двома модулями NRF24L01 (рис. 3.10, рис. 3.11).

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>

#define LED_PIN 12

RF24 radio(7, 8); // Піни CE та CSN

const byte addresses[][6] = {"00001", "00002"};

bool buttonState = false;

void setup() {
    pinMode(LED_PIN, OUTPUT);

    radio.begin();
    radio.openWritingPipe(addresses[1]); // Адреса приймача
    radio.openReadingPipe(1, addresses[0]); // Адреса передавача
    radio.setPALevel(RF24_PA_MIN); // Мінімальний рівень потужності
}

void loop() {
    delay(5);

    // Відправлення даних (наприклад, з потенціометра)
    radio.stopListening();
    int potValue = analogRead(A0);
    int angleValue = map(potValue, 0, 1023, 0, 180);
    radio.write(&angleValue, sizeof(angleValue));

    // Приймання зворотного сигналу
    delay(5);
    radio.startListening();
    while (!radio.available()); // Очікування наявності даних
    radio.read(&buttonState, sizeof(buttonState));

    // Обробка прийнятого сигналу
    if (buttonState == HIGH) {
        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
    } else {
        digitalWrite(LED_PIN, LOW);
    }
}
```

Рисунок 3.10 – Код передавача NRF24L01 для адаптивної системи освітлення

```

#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#include <Servo.h>

#define BUTTON_PIN 4

RF24 radio(7, 8); // Піни CE, CSN
const byte addresses[][6] = {"00001", "00002"};

Servo myServo;
bool buttonState = false;

void setup() {
  pinMode(BUTTON_PIN, INPUT);
  myServo.attach(5); // Підключення сервоприводу до піну D5

  radio.begin();
  radio.openWritingPipe(addresses[0]); // Відповідь передається сюди
  radio.openReadingPipe(1, addresses[1]); // Прийом з цієї адреси
  radio.setPALevel(RF24_PA_MIN); // Мінімальна потужність
}

void loop() {
  delay(5);

  radio.startListening();
  if (radio.available()) {
    while (radio.available()) {
      int angleValue = 0;
      radio.read(&angleValue, sizeof(angleValue));
      myServo.write(angleValue); // Поворот сервоприводу
    }

    delay(5);
    radio.stopListening();

    // Зчитування стану кнопки та надсилання його назад
    buttonState = digitalRead(BUTTON_PIN);
    radio.write(&buttonState, sizeof(buttonState));
  }
}

```

Рисунок 3.11 – Код приймача NRF24L01 з керуванням сервоприводом

Для забезпечення бездротового зв'язку між модулями nRF24L01 необхідно активувати інтерфейс SPI та підключити бібліотеку RF24. Далі створюється об'єкт класу RF24, до якого передаються два аргументи – це пін CE та пін CSN, наприклад: RF24 radio(7, 8).

Наступним етапом є створення масиву з двома байтовими адресами, що виступають у ролі так званих труб для обміну даними між модулями. Для реалізації двостороннього зв'язку потрібно визначити дві різні адреси – одну для передавання, іншу для приймання. Такий масив може мати вигляд: `const byte addresses[][6] = {"00001", "00002"}.`

У блоці налаштування необхідно вказати обидві адреси для кожного модуля. При цьому адреса, яка використовується для запису на одному пристрої, повинна збігатися з адресою для читання на іншому, і навпаки.

На стороні передавача встановлюється адреса для запису як "00002", а для читання – "00001". Водночас на приймачі використовується адреса "00001" для запису та "00002" для читання. Така конфігурація забезпечує синхронізований двонаправлений зв'язок між двома Arduino-пристроями за допомогою радіомодулів nRF24L01. У циклі `loop()` перший Arduino припиняє прослуховування (`radio.stopListening()`), читає значення з потенціометра, перетворює його у кут повороту від 0 до 180 і надсилає (рис. 3.12).

```
int potValue = analogRead(A0);
int angleValue = map(potValue, 0, 1023, 0, 180);
radio.write(&angleValue, sizeof(angleValue));
```

Рисунок 3.12 – Зчитування значення з потенціометра, перетворення у кут та передача через модуль NRF24L01

Другий Arduino активує прийом (`radio.startListening()`) і, якщо дані доступні, зчитує їх у змінну `angleV` та подає на сервопривід (рис. 3.13).

```
if (radio.available()) {  
    while (radio.available()) {  
        int angleV = 0;  
        radio.read(&angleV, sizeof(angleV));  
        myServo.write(angleV);  
    }  
}
```

Рисунок 3.13 – Прийом значення кута через NRF24L01 та передача його на сервопривід

Після цього перший Arduino переходить у режим прийому, чекаючи відповідь у циклі while.

Слід зазначити, що даний скетч створює просту та надійну систему керування реле за допомогою кнопки, з інтеграцією у мережу MySensors. Завдяки використанню бібліотеки Bounce2 забезпечується коректне зчитування натискань, а збереження стану реле в EEPROM дозволяє підтримувати його попереднє положення навіть після перезавантаження. Така система може застосовуватись у розумному будинку для локального або віддаленого керування освітленням чи іншими електричними приладами.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні вимоги до безпеки при проектуванні систем розумного будинку

Проектування систем розумного будинку є складним та багатограним процесом, який включає в себе не лише технічну реалізацію, а й забезпечення високих стандартів безпеки. Урахування загальних вимог безпеки є невід'ємною частиною проектування будь-якої автоматизованої системи, особливо коли йдеться про інтелектуальне управління такими важливими елементами житлового простору, як освітлення, опалення, кондиціонування та безпека. Одним із головних аспектів безпеки є гарантування захисту від електричних, механічних, техногенних та природних небезпек, що можуть виникнути під час експлуатації системи.

Однією з основних вимог є дотримання правил електробезпеки. У розумних будинках використовуються численні електронні пристрої, такі як сенсори, реле, контролери, а також освітлювальні прилади, підключені до єдиного мережевого інтерфейсу. Через це необхідно передбачити надійний захист від коротких замикань, перевантажень і перенапруг у мережі. Усі електричні компоненти повинні відповідати вимогам стандартів безпеки, таких як захист від перегріву, а також забезпечення належної ізоляції. Особливо важливо забезпечити ефективне заземлення кожного елемента системи, що запобігає ураженню електричним струмом у разі виникнення аварійної ситуації.

При проектуванні таких систем необхідно враховувати й вимоги до їх безперебійної роботи. Як правило, розумні будинки споживають велику кількість енергії для постійної роботи сенсорів, комунікаційних модулів і інших компонентів. Тому важливо забезпечити стабільне електропостачання і резервні джерела живлення. Наявність джерел безперебійного живлення (UPS)

або систем аварійного живлення дозволить гарантувати функціонування всіх критичних елементів системи навіть у разі відключення електрики. Окрім того, для запобігання надмірним навантаженням на мережу, необхідно врахувати ефективний розподіл потужностей між різними компонентами і створити механізми автоматичного вимкнення пристроїв, які не є критично важливими для забезпечення безпеки.

Не менш важливим є тестування та перевірка працездатності усіх компонентів системи. Всі датчики, реле та контролери повинні бути перевірені на надійність і правильність роботи, особливо в умовах реальних експлуатаційних навантажень. Це дасть можливість виявити можливі дефекти чи слабкі місця в системі, які можуть призвести до збоїв у роботі системи або навіть до аварійних ситуацій. Тестування повинно включати як симуляцію нормальних умов експлуатації, так і тестування в екстремальних ситуаціях, що дозволяє виявити можливі проблеми до того, як система буде введена в експлуатацію.

4.2 Ризики та небезпеки при використанні адаптивних систем освітлення в умовах надзвичайних ситуацій

Одним з головних ризиків є потенційна вразливість адаптивних систем освітлення до техногенних аварій. Під час надзвичайних ситуацій, таких як короткі замикання в електричній мережі, перевантаження або інші неполадки в енергопостачанні, система освітлення може зазнати збоїв у роботі. Наприклад, підвищення або зниження напруги в мережі може призвести до пошкодження чутливих компонентів системи, таких як датчики освітленості, реле або навіть контролери. У таких випадках освітлення може не спрацювати належним чином, що ускладнить орієнтацію в приміщенні, підвищить ризик нещасних випадків і навіть може призвести до пожежі через перегрів компонентів системи.

Важливим аспектом є також залежність таких систем від стабільного джерела живлення. Адаптивні системи освітлення зазвичай працюють в умовах безперебійного живлення від основної електричної мережі. Однак під час надзвичайних ситуацій, таких як аварійні відключення електрики або природні катастрофи, наприклад, бурі, повені чи землетруси, система може залишитися без живлення. В таких випадках можуть виникати серйозні труднощі з використанням освітлення, яке вкрай важливе для орієнтації в просторі, зокрема під час евакуації або для забезпечення мінімальних умов для виживання в критичних ситуаціях. У разі відсутності резервного джерела живлення (наприклад, джерела безперебійного живлення або акумуляторних батарей), система освітлення не зможе виконувати свою основну функцію, що може призвести до серйозних наслідків, включаючи травмування або навіть загибель людей.

Ризик виникнення небезпечних ситуацій також значно зростає у разі використання неякісних або застарілих компонентів в адаптивних системах освітлення. В умовах надзвичайних ситуацій такі системи можуть стати уразливими до потужних електричних навантажень. Якщо компоненти системи, зокрема проводка або електричні роз'єми, не відповідають вимогам безпеки, це може призвести до перегріву, коротких замикань, а в найгіршому випадку – до пожежі. Адаптивні системи освітлення, особливо в умовах надзвичайних ситуацій, повинні бути побудовані на базі сертифікованих та надійних елементів, які витримують високі навантаження та екстремальні температури. Однак, в реальності часто буває так, що деякі користувачі не звертають уваги на якість компонентів, що може призвести до серйозних техногенних катастроф.

Особливу увагу слід приділити й питанням безпеки людей, що використовують адаптивні системи освітлення в умовах надзвичайних ситуацій. Наприклад, якщо система освітлення не може забезпечити належного рівня освітленості в критичних місцях, таких як евакуаційні виходи, сходи або проходи, це може ускладнити евакуацію або навіть привести до травм. У випадку паніки, коли люди повинні швидко покинути будинок, освітлення, що

не працює коректно або відсутнє зовсім, може стати серйозною загрозою для життя. Під час природних катастроф, наприклад, землетрусів або повеней, можливість швидко орієнтуватися в темряві має критичне значення. У таких випадках, адаптивна система освітлення повинна мати вбудовану функцію аварійного освітлення, яке автоматично активується під час відключення основного електропостачання.

Загалом, адаптивні системи освітлення повинні бути спроектовані таким чином, щоб мінімізувати ризики та забезпечити максимальну безпеку в умовах надзвичайних ситуацій. Забезпечення їх безперебійної роботи, надійності та здатності до швидкої адаптації до змін умов навколишнього середовища є ключовими аспектами для забезпечення безпеки та комфорту користувачів.

4.3 Заходи безпеки при тестуванні та експлуатації автоматизованих систем освітлення

Автоматизовані системи освітлення, як частина більшої концепції розумного будинку, забезпечують не тільки зручність, але й енергоефективність і безпеку. Однак при проектуванні, тестуванні та експлуатації таких систем надзвичайно важливо приділяти увагу питанням безпеки, як для самих користувачів, так і для системи в цілому. Забезпечення належної безпеки на кожному етапі життєвого циклу системи – від її розробки до експлуатації та обслуговування – є критичним для того, щоб уникнути потенційних загроз, таких як технічні несправності, ризики електричної небезпеки та інші аварійні ситуації.

Першим етапом є тестування системи, яке має важливе значення для визначення її працездатності в умовах нормальної експлуатації та під час аварійних ситуацій. Під час тестування автоматизованої системи освітлення необхідно перевіряти всі її компоненти на надійність і безпеку, що включає перевірку з'єднань, енергоспоживання, спроможності реагувати на команди

користувача і коректну роботу датчиків. Тестування повинно проводитися в умовах, наближених до реальних, а також в екстремальних ситуаціях, щоб забезпечити стійкість до потенційних перевантажень і надійність у разі виходу з ладу окремих елементів. Усі компоненти, що використовуються в системі освітлення, повинні бути сертифікованими і відповідати стандартам безпеки, щоб уникнути будь-яких небезпек, таких як короткі замикання, перегрів або інші електричні дефекти.

Один із основних аспектів безпеки, який слід враховувати під час тестування, – це захист від електричних ударів. Під час тестування необхідно ретельно перевірити ізоляцію всіх електричних кабелів, роз'ємів і з'єднань, а також системи заземлення, оскільки будь-яка несправність може призвести до загрози ураження електричним струмом. Крім того, система повинна мати захист від перенапруги, адже непередбачувані зміни напруги в мережі можуть стати причиною виходу з ладу пристроїв. Для цього важливо використовувати відповідні захисні елементи, такі як запобіжники та стабілізатори напруги, а також вбудовані механізми автоматичного вимкнення системи в разі виявлення перевантажень.

Окрім цього, під час тестування необхідно провести аналіз енергоспоживання системи, оскільки автоматизовані системи освітлення мають на меті не лише покращення комфорту користувачів, але й забезпечення енергоефективності. Система повинна оптимально регулювати яскравість освітлення відповідно до потреб користувача, не перевантажуючи електричну мережу та забезпечуючи мінімальні витрати енергії. Оцінка ефективності енергоспоживання є важливим етапом, оскільки це дозволяє не лише знизити витрати, але й зробити систему більш стійкою до непередбачуваних ситуацій, коли виникають коливання в енергоспоживанні або зміни в електричній мережі.

Після успішного тестування переходять до етапу експлуатації системи, коли важливо не лише забезпечити коректну роботу системи, але й підтримувати її безпечну експлуатацію на протязі всього періоду використання. Експлуатація автоматизованих систем освітлення повинна передбачати регулярне обслуговування, яке включає перевірку працездатності всіх

компонентів, їх очищення, а також перевірку налаштувань системи. Для цього необхідно забезпечити технічну документацію, що містить інструкції щодо обслуговування, а також графік планових перевірок, щоб своєчасно виявляти і усувати потенційні дефекти або збої в роботі системи.

Отже, заходи безпеки при тестуванні та експлуатації автоматизованих систем освітлення мають вирішальне значення для забезпечення надійної, безпечної та ефективної роботи цих систем. Забезпечення електричної безпеки, захисту від збоїв, надійної роботи датчиків, енергоспоживання та безпеки даних є ключовими аспектами, які визначають безпеку та ефективність таких систем у повсякденному житті.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було розроблено автоматизовану систему адаптивного керування освітленням розумного будинку, яка дозволяє підвищити енергоефективність, зменшити експлуатаційні витрати та забезпечити комфортні умови перебування у приміщеннях. На основі аналізу сучасного стану технологій у сфері інтелектуального освітлення було визначено основні вимоги до адаптивних систем, які враховують динаміку природного освітлення, присутність користувачів, тип приміщення та сценарії його використання. Детально розглянуто апаратні й програмні компоненти майбутньої системи, зокрема контролери Arduino, датчики освітленості LM393 та BH1750, сенсори присутності HC-SR501, а також виконавчі елементи, що дозволяють регулювати яскравість освітлення у режимі реального часу. Встановлено, що оптимальне поєднання сенсорних пристроїв із мікроконтролерними модулями забезпечує гнучке та точне регулювання світлового середовища з урахуванням зовнішніх умов.

У роботі здійснено розробку структурної та електричної схем системи, реалізовано алгоритм адаптивного керування, який дозволяє автоматично змінювати інтенсивність освітлення залежно від рівня природного світла і виявлення присутності людей у приміщенні. Проведено моделювання логіки керування та оцінку ефективності запропонованого рішення, результати якої підтвердили доцільність впровадження такого підходу в побутових умовах. Перевагами системи є низька вартість реалізації, доступність комплектуючих, легкість у масштабуванні, а також можливість інтеграції з хмарними платформами типу Home Assistant для розширення функціоналу. Впровадження адаптивної системи освітлення дозволяє зменшити споживання електроенергії до 35–45% порівняно з традиційними методами, а також сприяє підвищенню експлуатаційної безпеки за рахунок автоматизації процесів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойко А. М. Системи автоматизації будівель: навч. посіб. / А. М. Бойко. – Київ: КНУБА, 2020. – 184 с.
2. Попов С. М. Мікроконтролери та вбудовані системи / С. М. Попов. – Харків: НТУ «ХП», 2021. – 312 с.
3. Тарасов В. В. Основи проектування систем «розумного будинку» / В. В. Тарасов. – Одеса: ОНПУ, 2022. – 196 с.
4. Касьян С. А. Освітлення в інтелектуальних будівлях / С. А. Касьян // Світлотехніка і електроенергетика. – 2020. – № 2. – С. 34–39.
5. Стельмах А. В. IoT технології в автоматизованих системах освітлення / А. В. Стельмах // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси. – 2021. – № 4. – С. 12–19.
6. Загородній В. А. Енергоефективні системи освітлення / В. А. Загородній. – Львів: Видавництво ЛНУ, 2019. – 138 с.
7. Golzar M. A. A New Intelligent Remote Control System for Home Automation / M. A. Golzar, H. Tajozakerin // World Applied Sciences Journal. – 2011. – Vol. 12(2). – P. 141–145.
8. Arduino. Getting Started with Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage>
9. Bianchi V. Smart Lighting Systems: Technologies and Applications / V. Bianchi, A. Miorandi // Internet of Things. – 2020. – Vol. 11. – P. 100245.
10. Mavhome project: Smart home control systems [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cse.unt.edu/~smohanty/MAVHome> (дата звернення: 24.05.2025).
11. ДСТУ EN 12464-1:2016. Світло і освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Робочі місця в приміщеннях.
12. Зінченко В. Г. Інтелектуальні системи освітлення в житлових будинках / В. Г. Зінченко // Електротехніка і електромеханіка. – 2021. – № 6. – С. 42–46.

13. Колесников С. І. IoT-системи в сучасному житті: проблеми та перспективи / С. І. Колесников // Технології та інновації. – 2022. – № 1. – С. 20–27.
14. Сіденко Ю. І. Застосування сенсорів освітленості в розумному будинку / Ю. І. Сіденко // Системи управління та автоматики. – 2020. – № 3. – С. 57–61.
15. Жежеря О. І. Програмовані логічні контролери у побутових автоматизованих системах / О. І. Жежеря. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 164 с.
16. López-Rodríguez J. F. Energy Saving in Smart Lighting Systems / J. F. López-Rodríguez et al. // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2019. – Vol. 66(7). – P. 5513–5522.
17. TagoIO. Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.tago.io> (дата звернення: 04.05.2025).
18. Home Assistant. Getting Started [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.home-assistant.io/docs> (дата звернення: 04.05.2025).
19. Чухрай О. В. Безпека в інтелектуальних системах будівель / О. В. Чухрай. – Київ: Університет «Україна», 2020. – 115 с.
20. Gubbi, J. Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions / J. Gubbi et al. // Future Generation Computer Systems. – 2013. – Vol. 29. – P. 1645–1660.
21. Ігнатенко П. А. Протоколи зв'язку в системах автоматизації / П. А. Ігнатенко // Сучасні інформаційні технології. – 2022. – № 2. – С. 88–94.
22. Козлов С. І. Побудова адаптивних алгоритмів освітлення / С. І. Козлов // Автоматизація виробничих процесів. – 2019. – № 1. – С. 31–35.
23. Khanna V. Internet of Things for Smart Lighting / V. Khanna. – Boca Raton: CRC Press, 2019. – 258 p.