

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ
ОСВІТЛЕННЯМ НА ОСНОВІ ДАВАЧІВ РУХУ ТА
ОСВІТЛЕННЯ**

Виконав(ла): студент 6 курсу, групи ЕТм
спеціальності 141

«Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Богач П.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник
(підпис) Філюк Я.О.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль
(підпис) Коваль В.П.
(прізвище та ініціали)

Завідувач
кафедри
(підпис) Коваль В.П.
(прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра

Електричної інженерії

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«14» жовтня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(НАЗВА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ)

за спеціальністю

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

студенту

Богачу Павлу Івановичу

(Прізвище, Ім'я, По Батькові)

1. Тема роботи

Розробка автоматизованої системи керування освітленням на основі давачів руху та освітлення

Керівник роботи

Філюк Ярослав Олександрович, к.т.н.

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

Затверджені наказом ректора від

« 10 » жовтня 2024 року № 4/7-984

2. Термін подання студентом завершеної роботи

грудень 2024 року

3. Вихідні дані до роботи

Ознайомитися з існуючими схемами та методиками розробки та інтеграції автоматизованих систем освітлення. Провести порівняльний аналіз. Розробити систему на основі Raspberry Pi, для подальшої інтеграції в житловому приміщенні.

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

1. Аналітичний розділ

2. Розрахунково-дослідницький розділ

3. Проектно-конструкторський розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці. Безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я. к.т.н., доцент		
	Клепчик В.М., старший викладач		
Нормоконтроль	Коваль В.П. к.т.н., зав. кафедри ЕІ		

7. Дата видачі завдання

14 жовтня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	20.10.2024	
2	Аналітичний розділ	1.11.2024	
3	Розрахунково-дослідницький розділ	10.11.2024	
4	Проектно-конструкторський розділ	25.11.2024	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	29.11.2024	
6	Висновки	01.12.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки	06.12.2024	
8	Оформлення графічної частини	12.12.2024	

Студент

Богач П.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Філюк Я.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Богач П.І. Автоматизація систем управління освітленням у розумних будинках: дослідження та розробка автоматизованої системи управління освітленням на основі датчиків руху та освітлення для економії енергії.

Обсяг магістерської роботи: сторінок – 84; рисунків – 27; таблиць – 15; додатків – 0; джерел – 16.

Метою магістерської роботи було розробити автоматизовану систему освітлення, що адаптується до змін умов навколишнього середовища і забезпечує енергоефективність та комфорт для користувачів.

У першому розділі виконано огляд сучасних систем управління освітленням, проаналізовано переваги й недоліки різних підходів до автоматизації. Розглянуто компоненти систем, такі як Raspberry Pi, PIR-датчики, сенсори освітленості, LED-лампи.

Другий розділ присвячено розробці архітектури системи, вибору оптимальних технічних рішень та алгоритмів управління освітленням. Представлено схему взаємодії компонентів системи.

У третьому розділі виконано моделювання роботи системи для аналізу її працездатності. Проведено експериментальну перевірку в реальних умовах, що підтвердило зниження енергоспоживання порівняно з традиційними системами освітлення.

Магістерська робота доводить ефективність автоматизації систем освітлення в житлових приміщеннях як інноваційного рішення для підвищення енергоефективності та створення комфортних умов для користувачів.

Ключові слова: автоматизована система освітлення, енергоефективність, PIR-датчики, сенсори освітленості, Raspberry Pi, LED-лампи

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ЗМІСТ.....	5
ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	10
1.1 Аналіз існуючих систем управління освітленням у будинках.....	10
1.2. Огляд методів оптимізації енергоспоживання в системах освітлення за допомогою автоматизованих систем освітлення (АСО)	14
1.3. Використання датчиків руху та освітлення в сучасних системах	16
1.4 Переваги та недоліки використання Raspberry Pi для автоматизації освітлення	20
1.5. Висновки до розділу	24
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	25
2.1. Центральний вузол керування автоматичної системи освітленості....	25
2.2. Проектування апаратної архітектури та обґрунтування компонентів системи автоматичного регулювання освітленості.....	29
2.3 Розробка схем підключення компонентів системи автоматичного регулювання освітлення.....	35
2.3.1 Схема підключення сенсора освітленості TSL 2561	36
2.3.2 Підключення PIR-датчиків руху	37
2.3.3 Реле управління освітленням	38
2.4 Розрахунки енергоефективності системи.....	41
2.5 Характеристики протоколів передачі даних у системі автоматизованого регулювання освітлення	44
2.6 Проектування режимів роботи	49
2.7 Висновки до розділу	52
3 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	55

3.1. Моделювання та результат дослідження автоматизованої системи освітлення	55
3.2 Результати дослідження автоматизованої системи освітлення	67
3.3 Висновки до розділу	75
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ...	77
4.1 Охорона праці.....	77
4.1.1. Значення охорони праці для забезпечення безпеки праці при роботі з автоматизованими системами.....	77
4.1.2 Основні вимоги до електробезпеки під час роботи з автоматизованими системами розумного будинку	78
4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	80
4.2.1 Перелік дій при виникненні небезпечних ситуацій під час роботи з автоматизованими системами	80
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	82
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	83

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний розвиток технологій і зростаюча увага до енергозбереження створюють сприятливі умови для впровадження інноваційних рішень у житлових і комерційних приміщеннях. Одним із ключових напрямків у цій сфері є розробка автоматизованих систем управління освітленням, які є невід’ємною частиною концепції "розумного будинку". Ці системи не лише підвищують комфорт і зручність користувачів, але й сприяють значному зниженню енергоспоживання, що є важливим з огляду на економічну та екологічну ефективність.

У контексті глобальних ініціатив з енергоефективності автоматизація освітлення набуває особливої ваги. Статистика показує, що до 30 % електроенергії в будинках та офісах використовується на освітлення. Значна частина цієї енергії витрачається нерационально: освітлення залишається увімкненим в порожніх приміщеннях або використовується при достатньому рівні природного світла. Вирішення цієї проблеми лежить в адаптивному управлінні освітленням, яке дозволяє автоматично вмикати і вимикати світло залежно від умов — зокрема, наявності людей та рівня природного освітлення. Завдяки цьому системи автоматизації освітлення стають ефективним інструментом енергозбереження, підтримуючи як комфорт користувачів, так і зниження впливу на довкілля.

Мета дослідження. Метою даної роботи є розробка та дослідження автоматизованої системи управління освітленням у розумному будинку, що базується на використанні датчиків руху та освітлення. Така система дозволить зменшити витрати електроенергії, оптимально керуючи освітленням залежно від присутності людей у приміщенні та рівня природного освітлення. Це сприятиме як економії енергії, так і підвищенню рівня зручності для користувачів.

Завдання роботи:

- Проаналізувати сучасні системи автоматизації освітлення: провести огляд існуючих технологій автоматизації освітлення у розумних будинках, включаючи датчики руху, освітлення та основні методи керування.

- Вибрати компоненти системи та визначити оптимальні компоненти для створення системи автоматизації, зокрема, типи та характеристики датчиків, контролери та модулі передачі даних, які відповідають потребам розумного будинку.
- Розробити алгоритми управління освітленням що забезпечать автоматичне вмикання і вимикання освітлення на основі даних від датчиків, з урахуванням рівня природного світла для зниження енергоспоживання.
- Провести моделювання роботи автоматизованої системи та оцінити потенційні енергетичні заощадження, порівнявши її ефективність із традиційними системами освітлення.
- Дослідити питання безпеки використання автоматизованих систем управління освітленням та розробити рекомендації щодо їх безпечної експлуатації, особливо у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

Об’єкт дослідження: автоматизована система управління освітленням для розумного будинку на основі датчиків руху та освітлення.

Предмет дослідження: технічні та енергетичні параметри автоматизованої системи управління освітленням, що забезпечує зниження енергоспоживання за рахунок адаптивного управління.

Наукова новизна. Наукова новизна даного дослідження полягає в інтеграції та оптимізації використання датчиків руху та освітлення для автоматизованого управління освітленням. Розглянуто специфічні особливості такої інтеграції для систем розумних будинків з акцентом на досягнення максимальної енергоефективності та адаптивного управління освітленням у реальному часі.

Практична значущість. Результати дослідження можуть бути застосовані в розробці систем автоматизації для житлових та комерційних приміщень, що дозволить знизити енергетичні витрати, підвищити зручність експлуатації освітлювальних систем, а також зробити житло більш екологічним. Крім того, такі рішення можуть знайти застосування в офісних будівлях, навчальних закладах та громадських установах, що прагнуть зменшити викиди CO₂ та підтримувати сталі ініціативи.

Апробація результатів. Основні положення та результати дослідження були представлені на XIII Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 2024 р.).

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 4 розділів, висновків та переліку посилань.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз існуючих систем управління освітленням у будинках

Освітлення відіграє важливу роль у забезпеченні комфорту, функціональності та безпеки житлових приміщень. З розвитком концепції «розумних будинків» автоматизація систем освітлення стає ключовою складовою інтегрованих рішень, спрямованих на підвищення якості життя. Розумне освітлення дозволяє не лише зменшити енергоспоживання, а й адаптувати умови освітлення до потреб користувачів у реальному часі.

Автоматизовані системи освітлення (АСО) мають широкий спектр застосування – від приватних житлових будинків до комерційних приміщень і громадських будівель. Їх основними функціями є:

- автоматичне ввімкнення/вимкнення світильників на основі даних датчиків руху та освітленості,
- регулювання яскравості в залежності від зовнішніх умов,
- налаштування сценаріїв освітлення для створення комфортної атмосфери,
- інтеграція з іншими системами «розумного будинку», такими як безпека, клімат-контроль і мультимедіа.

Значна частина успіху таких систем залежить від вибору відповідних технологій та компонентів. В останні роки особливу популярність здобули платформи Raspberry Pi, Arduino та спеціалізовані контролери, які забезпечують можливість створення економічно вигідних, масштабованих і простих у налаштуванні систем.

Метою цього розділу є аналіз існуючих рішень автоматизованих систем освітлення для розумних будинків, їх архітектурних особливостей, переваг та недоліків, а також визначення перспектив розвитку цієї галузі.

АСО використовують сучасні мікроконтролери, датчики руху, освітленості та інших компоненти, що забезпечують інтеграцію системи з розумним будинком. Ключові характеристики АСО включають:

- Автоматизація: можливість налаштування сценаріїв освітлення відповідно до часу доби чи активності користувача.
- Енергоефективність: мінімізація споживання електроенергії завдяки динамічному регулюванню яскравості.
- Інтеграція: підтримка стандартів, таких як Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi, для сполучення з іншими системами.

Основні показники АСО показані в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Ключові показники сучасних АСО

Параметр	Значення
Споживання енергії	До 30 % менше, ніж звичайне освітлення
Час реакції датчиків	0,1 секунд – 0,5 секунд
Термін служби системи	До 50 000 годин
Інтеграція з іншими системами	Висока

Автоматизовані системи освітлення (АСО) класифікуються за кількома ключовими критеріями, що дозволяє їх адаптувати до різних потреб користувачів, особливостей будівель та технічних умов. Основними критеріями класифікації є принцип управління, ступінь інтеграції, функціональні можливості та масштабованість системи[1].

Залежно від принципу управління, АСО можуть бути централізованими, децентралізованими або гібридними. Кожен з цих типів має свої переваги та обмеження, які впливають на вибір відповідної системи. Централізовані системи забезпечують зручність моніторингу та налаштувань, але потребують надійного центрального вузла. Децентралізовані, у свою чергу, пропонують автономність і високу надійність за рахунок розподіленого управління. Гібридні системи поєднують переваги обох підходів, забезпечуючи гнучкість та ефективність.

АСО також розрізняють за ступенем інтеграції з іншими системами розумного будинку, такими як безпека, клімат-контроль або мультимедійні платформи[6]. Інтегровані системи дозволяють створювати комплексні сценарії

управління будинком, наприклад, ввімкнення освітлення разом із системою безпеки при фіксації руху в приміщенні [2]. Системи з низьким рівнем інтеграції працюють автономно, але обмежують можливість взаємодії з іншими елементами інфраструктури.

Функціональні можливості АСО включають різні сценарії освітлення, управління яскравістю, кольором та динамікою світла. Деякі сучасні системи використовують алгоритми штучного інтелекту для адаптації до поведінки користувача, що підвищує їх ефективність[3]. Крім того, важливим аспектом є масштабованість системи – можливість додавання нових компонентів або модулів без значних змін архітектури.

Існує кілька основних типів АСО для розумних будинків.

Централізовані системи:

- Управління здійснюється через єдиний контролер.
- Переваги: легкість налаштування, простота моніторингу.
- Недоліки: залежність від центрального вузла, висока вартість.

Децентралізовані системи:

- Кожен модуль працює автономно.
- Переваги: надійність, незалежність від центрального контролера.
- Недоліки: складність інтеграції між модулями.

Гібридні системи:

- Поєднують переваги централізованих та децентралізованих рішень.
- Оптимальні для масштабованих проєктів

Порівняння типів автоматичних систем освітлення наведено в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Порівняння типів АСО

Тип системи	Переваги	Недоліки
Централізована	Простота налаштувань	Висока вартість
Децентралізована	Надійність, незалежність	Складність обслуговування
Гібридна	Гнучкість, масштабованість	Складна архітектура

АСО часто базуються на мікроконтролерах, таких як Raspberry Pi, Zigbee, Arduino, або спеціалізованих процесорах. На рисунку 1.1 зображено приклад роботи системи на основі Zigbee.

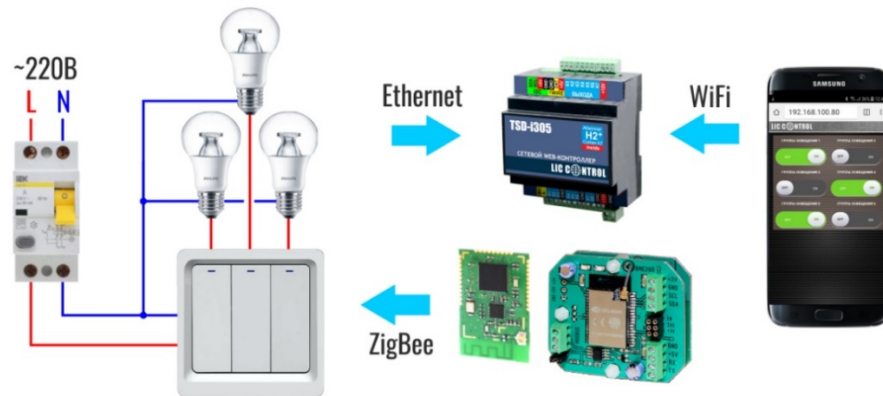


Рисунок 1.1 – Приклад роботи системи на основі Zigbee.

Сучасні датчики руху дозволяють виявляти найменші зміни активності, а датчики освітленості забезпечують динамічне регулювання яскравості відповідно до зовнішніх умов[9]. Ринок автоматизованих систем освітлення (АСО) перебуває у фазі активного розвитку, демонструючи динамічну адаптацію до сучасних технологічних досягнень та швидко змінюваних потреб користувачів. Постійне вдосконалення технологій і зростання попиту на розумні рішення стимулюють появу нових функціональних можливостей і розширення сфер застосування АСО. Ці системи перетворюються на ключовий компонент концепції «розумного будинку», об'єднуючи комфорт, енергоефективність та екологічність в одному рішенні.

Зміна соціальних та економічних умов, таких як глобальна цифровізація, підвищення екологічної свідомості та зростання цін на енергоресурси, також сприяє активному впровадженню інновацій в АСО [4]. Системи освітлення більше не є просто джерелом світла — вони стають інструментом створення персоналізованого простору, адаптуючись до стилю життя кожного користувача.

Ключові тенденції, які формують майбутнє ринку АСО, включають інтеграцію з Інтернетом речей (IoT), впровадження штучного інтелекту для

персоналізації освітлення, використання екологічних джерел енергії, розвиток бездротових технологій зв'язку та голосового управління. Всі ці напрями спрямовані на те, щоб зробити системи освітлення ще більш інтелектуальними, гнучкими та зручними у використанні, водночас знижуючи їхній екологічний слід.

Загалом, розвиток АСО іде в ногу з прогресом у галузях електроніки, інформаційних технологій та енергетики, створюючи нові можливості для впровадження розумних технологій у повсякденне життя. Впровадження IoT, AI, бездротових технологій і екологічних рішень робить ці системи дедалі привабливішими як для приватних користувачів, так і для бізнесу[6]. У майбутньому очікується ще більше інтеграцій з іншими технологіями, що дозволить створити повністю автономні та адаптивні освітлювальні рішення.

1.2. Огляд методів оптимізації енергоспоживання в системах освітлення за допомогою автоматизованих систем освітлення (АСО)

Зменшення енергоспоживання є однією з головних цілей автоматизованих систем освітлення (АСО). Інтеграція сучасних технологій дозволяє не лише ефективно управляти освітленням, але й забезпечувати суттєву економію електроенергії. У цьому розділі розглянемо методи, за допомогою яких АСО сприяють оптимізації енергоспоживання в житлових, комерційних і промислових об'єктах. Нижче перераховані методи оптимізації енергоспоживання за допомогою АСО.

Інтелектуальне управління освітленням:

- Датчики руху: Освітлення вмикається лише при виявленні присутності в приміщенні, що дозволяє уникнути марного використання енергії.
- Датчики освітленості: Регулювання яскравості штучного освітлення відповідно до рівня природного світла.
- Сценарії освітлення: Використання запрограмованих режимів, наприклад, "нічний режим" або "робочий режим".

Використання енергоефективного обладнання:

- LED-лампи: Світлодіоди споживають до 80 % менше енергії порівняно з традиційними джерелами світла.
- Драйвери для регулювання струму: Забезпечують стабільність роботи світильників при зміні напруги.

Автоматизація графіків роботи освітлення:

- Таймери: Освітлення автоматично вимикається у заданий час, наприклад, після завершення робочого дня.
- Динамічне управління: Система коригує графіки освітлення залежно від тривалості світлового дня.

Інтеграція з Інтернетом речей (IoT) :

- Віддалений контроль: Користувачі можуть управляти освітленням через мобільні додатки або веб-інтерфейси.
- Моніторинг енергоспоживання: Аналіз даних допомагає виявити неефективні ділянки та оптимізувати їхню роботу.
- Інтелектуальні алгоритми: АСО з використанням штучного інтелекту здатні передбачати потреби освітлення, адаптуючи систему до змін умов.

Порівняння споживання енергії різними джерелами світла дозволяє оцінити ефективність кожного типу освітлювальних приладів у контексті енергозбереження та витрат на експлуатацію. У таблиці 1.3 наведено детальний аналіз споживання енергії для різних джерел світла

Таблиця 1.3 – Порівняння споживання енергії різними джерелами світла

Тип джерела світла	Споживання енергії (Вт)	Тривалість служби (год)	Енергоефективність (%)
Лампа розжарювання	60	1 000	10 %
Люмінесцентна лампа	15	10 000	50 %
LED-лампа	8	50 000	90 %

Переваги методів оптимізації енергоспоживання за допомогою АСО

- Економія енергії: Зменшення споживання електроенергії до 50 % завдяки інтелектуальному управлінню.
- Зменшення витрат: Зниження рахунків за електроенергію у житлових, комерційних та промислових об'єктах.
- Збільшення тривалості служби обладнання: Зменшення навантаження на освітлювальні прилади продовжує їх термін служби.
- Екологічність: Скорочення викидів CO₂ завдяки зменшенню енергоспоживання.

Оптимізація енергоспоживання за допомогою автоматизованих систем освітлення є ефективним способом зменшення витрат на електроенергію, підвищення екологічності та забезпечення зручності використання. Використання сучасних методів, таких як датчики руху та освітленості, LED-технології, автоматизація графіків роботи та інтеграція з IoT, дозволяє створювати адаптивні системи, які відповідають потребам користувачів та умовам навколишнього середовища.

1.3. Використання датчиків руху та освітлення в сучасних системах

Датчики руху та освітлення є ключовими елементами сучасних автоматизованих систем освітлення (АСО), які спрямовані на забезпечення інтелектуального управління світловими приладами. Завдяки використанню датчиків ці системи здатні автоматично реагувати на зміни умов у приміщенні або зовнішньому середовищі, підвищуючи ефективність роботи освітлювальних приладів, забезпечуючи комфорт для користувачів і водночас сприяючи суттєвому зниженню енергоспоживання[6].

Датчики руху забезпечують автоматичне ввімкнення та вимкнення освітлення на основі фіксації присутності чи активності у приміщенні. Вони дозволяють усунути проблему надмірного використання електроенергії в приміщеннях, де освітлення потрібне лише періодично. Наприклад, у коридорах,

ванних кімнатах або офісах. Інтеграція таких датчиків у АСО дозволяє створювати адаптивні сценарії освітлення, які не потребують участі користувача.

Датчики освітлення, своєю чергою, контролюють рівень природного світла та регулюють інтенсивність штучного освітлення, щоб уникнути його надмірного використання в умовах достатньої кількості природного світла. Це особливо актуально в офісах, навчальних закладах та громадських приміщеннях, де оптимальне освітлення має безпосередній вплив на продуктивність і комфорт[10].

Сучасні АСО часто поєднують датчики руху та освітлення для створення комплексних рішень. Завдяки їх взаємодії система може визначати, чи потрібне освітлення у конкретний момент, і, якщо так, то з якою інтенсивністю його вмикати. Наприклад, у нічний час система може автоматично знижувати яскравість світильників, створюючи більш спокійну атмосферу та водночас зберігаючи енергію. Датчики руху та освітлення класифікуються на кілька основних категорій залежно від принципу їхньої роботи, фізичних явищ, які вони фіксують, та технологій, що застосовуються для обробки отриманих даних[9]. Це дозволяє кожній категорії забезпечувати специфічні функції, враховуючи різноманітні умови використання, точність вимірювань і рівень інтеграції з автоматизованими системами освітлення.

Датчики руху та освітлення поділяються на кілька категорій залежно від принципу роботи та технологій, які вони використовують.

Датчики руху:

- Пасивні інфрачервоні (PIR) – виявляють рух об'єктів за змінами інфрачервоного випромінювання.
- Ультразвукові – використовують звукові хвилі для визначення наявності руху.
- Мікрохвильові – виявляють рух за допомогою радіохвиль.
- Гібридні – поєднують кілька технологій для підвищення точності.

Датчики освітлення:

- Фоторезистори – змінюють опір залежно від інтенсивності світла.
- Фотодіоди – створюють електричний струм під впливом світлових хвиль.

- Цифрові сенсори – використовують інтегровані мікроконтролери для аналізу рівня освітленості.

Для порівняння характеристик датчиків руху створено таблицю 1.4, де наглядно показано різницю між датчиками.

Таблиця 1.4 – Порівняння датчиків руху

Тип датчика	Принцип роботи	Переваги	Недоліки
PIR	Виявлення інфрачервоного випромінювання	Низьке енергоспоживання, доступність	Обмежена зона дії
Ультразвуковий	Відбиття звукових хвиль	Точність у приміщеннях	Чутливість до шуму
Мікрохвильовий	Аналіз радіохвиль	Велика зона дії	Висока ціна
Гібридний	Комбінація різних технологій	Висока точність	Висока вартість

Датчики руху та освітлення працюють разом для забезпечення ефективного управління освітленням. Схема взаємодії датчиків руху та освітлення зображена на рисунку 1.2. Основні етапи їхньої роботи:

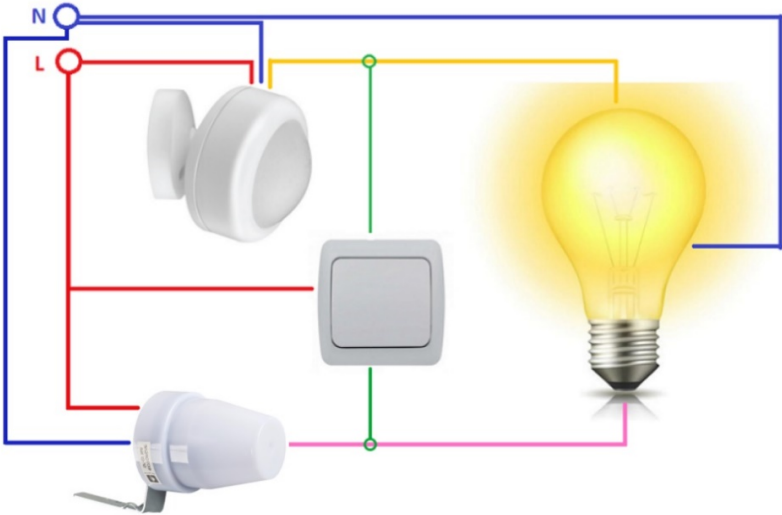


Рисунок 1.2 – Схема взаємодії датчиків руху та освітлення

Датчики руху та освітлення знаходять широке застосування у різних сферах завдяки їхній здатності автоматизувати процеси освітлення, підвищуючи енергоефективність і комфорт користувачів. Ось основні напрямки використання:

- Житлові приміщення: датчики руху забезпечують автоматичне освітлення коридорів, ванних кімнат та інших приміщень з короткотривалим використанням.
- Офісні приміщення: використання датчиків освітлення дозволяє оптимізувати рівень освітлення в залежності від часу доби та інтенсивності зовнішнього світла.
- Громадські місця: гібридні датчики застосовуються для забезпечення надійного освітлення в зонах з великою кількістю людей, таких як вокзали чи парки.

Таблиця 1.5 – Характеристики датчиків освітлення

Тип датчика	Чутливість до змін світла	Точність вимірювань	Використання
Фоторезистор	Середня	Низька	Побутові системи
Фотодіод	Висока	Висока	Професійні АСО
Цифровий сенсор	Дуже висока	Дуже висока	Інтелектуальні системи IoT

Отже, датчики руху та освітлення відіграють ключову роль у сучасних системах автоматизації освітлення, забезпечуючи не лише зручність у використанні, але й високу надійність та екологічність. Завдяки цим пристроям автоматизовані системи освітлення здатні динамічно адаптуватися до умов навколишнього середовища, враховуючи зміну рівня природного освітлення, наявність людей у приміщенні чи активність у зоні дії. Це дозволяє не лише оптимізувати витрати електроенергії, але й забезпечити комфортну атмосферу для користувачів.

Подальше вдосконалення технологій у галузі датчиків руху та освітлення спрямоване на створення ще більш інтелектуальних рішень, які інтегруються з системами Інтернету речей (IoT) і використовують алгоритми штучного інтелекту (AI) [2]. Такі системи зможуть не тільки реагувати на зміни в реальному часі, але й аналізувати поведінку користувачів, прогнозуючи їхні потреби. Наприклад, вони зможуть автоматично налаштовувати сценарії освітлення відповідно до графіка мешканців або створювати індивідуальні профілі освітлення для кожного члена родини.

Крім того, вдосконалення матеріалів і технологій виробництва датчиків сприяє їхньому розширеному використанню в складних умовах, таких як промислові об'єкти, зовнішні території чи середовища з високою вологістю. Більш компактні та енергоефективні датчики відкривають нові можливості для їхньої інтеграції в різноманітні проєкти, від житлових приміщень до великих громадських і комерційних об'єктів.

Таким чином, датчики руху та освітлення залишаються незамінними компонентами сучасних автоматизованих систем освітлення. Їхня подальша еволюція сприятиме появі більш інтелектуальних, екологічних і адаптивних рішень, які відповідають не лише сучасним викликам, але й майбутнім вимогам до енергоефективності, комфорту та інтеграції з іншими системами розумного будинку.

1.4 Переваги та недоліки використання Raspberry Pi для автоматизації освітлення

Raspberry Pi є одним із найпопулярніших рішень для розробки систем автоматизації завдяки його доступності, гнучкості та високій продуктивності. Цей мікрокомп'ютер, розроблений для освітніх і побутових завдань, швидко знайшов застосування в різних галузях, включаючи автоматизацію освітлення в розумних будинках. Використання Raspberry Pi як центрального елемента автоматизованих систем освітлення дозволяє реалізувати широкий спектр функцій: від базового управління світильниками до складних сценаріїв

освітлення, інтегрованих з IoT і штучним інтелектом. Однак, як і будь-яка технологія, Raspberry Pi має свої переваги та недоліки, які потрібно враховувати під час вибору платформи для автоматизації.

Особливості Raspberry Pi у системах освітлення Raspberry Pi — це багатофункціональна платформа, яка використовується як центральний контролер для обробки даних із датчиків руху, освітлення та інших пристроїв. Основними особливостями, які роблять його популярним у системах автоматизації освітлення, є:

- Обробка даних із датчиків (руху, освітленості тощо).
- Управління освітленням на основі сценаріїв (наприклад, ввімкнення світла під час виявлення руху).
- Інтеграція з IoT для віддаленого контролю.
- Використання машинного навчання для прогнозування потреб в освітленні.

В таблиці 1.6 порівнюються Raspberry Pi 4 Model B і Raspberry Pi Zero 2 W.

Таблиця 1.6 – Основні характеристики Raspberry Pi

Характеристика	Raspberry Pi 4 Model B	Raspberry Pi Zero 2 W
Процесор	ARM Cortex-A72, 4 ядра, 1.5 ГГц	ARM Cortex-A53, 4 ядра, 1 ГГц
Оперативна пам'ять	2/4/8 ГБ DDR4	512 МБ DDR2
Інтерфейси	GPIO, USB, HDMI, Ethernet, Wi-Fi	GPIO, USB, Wi-Fi
Енергоспоживання	3 Вт – 7 Вт	1 Вт – 3 Вт
Ціна	\$35 – \$75	\$15 – \$20

Raspberry Pi має компактний дизайн, що дозволяє зручно інтегрувати його у різні проекти, починаючи від простих домашніх розробок і закінчуючи

складними промисловими системами. Пристрій виконаний у вигляді одноплатного мікрокомп'ютера, на якому розташовані всі необхідні порти: GPIO для підключення сенсорів та модулів, USB для периферійних пристроїв, HDMI для виведення зображення на монітор, Ethernet для мережевого з'єднання та слот для карти microSD, яка використовується як носій операційної системи та даних. Типовий вигляд Raspberry Pi зображено на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд Raspberry Pi

Переваги використання Raspberry Pi:

- Гнучкість і багатофункціональність
Платформа підтримує численні мови.
- Низька вартість
Raspberry Pi є економічно вигідним рішенням порівняно з іншими платформами, такими як промислові контролери.
- Підтримка IoT
Підключення через Wi-Fi, Ethernet або Bluetooth.
- Розширена підтримка спільноти
Широка база проектів, інструкцій і бібліотек спрощує реалізацію навіть складних задач.
- Можливість модернізації
Швидка заміна компонентів або оновлення програмного забезпечення робить платформу зручною для довгострокового використання.

Недоліки використання Raspberry Pi:

- Чутливість до умов середовища
Необхідність додаткового захисту при використанні у складних умовах..
- Відносно високе енергоспоживання
У порівнянні з Arduino або іншими простими платформами.
- Потреба в налаштуванні
Вимагає знань у галузі програмування та налаштування апаратних компонентів.

Порівняння Raspberry Pi з конкурентами є важливим етапом у виборі оптимальної платформи для автоматизації освітлення. Ринок мікроконтролерів та мікрокомп'ютерів пропонує широкий спектр рішень, таких як Arduino, ESP32, BeagleBone Black та промислові контролери, кожне з яких має свої унікальні характеристики, переваги та обмеження. В таблиці 1.7 проведено порівняння Raspberry Pi з конкурентами.

Таблиця 1.7 – Порівняння платформ для автоматизації освітлення

Характеристика	Raspberry Pi	Arduino	ESP32	Промислові контролери
Обчислювальна потужність	Висока	Низька	Середня	Середня
Простота використання	Середня	Висока	Середня	Низька
Енергоспоживання	Помірне	Дуже низьке	Низьке	Високе
Інтеграція з IoT	Висока	Низька	Висока	Обмежена
Ціна	Середня	Низька	Середня	Висока

Raspberry Pi є надзвичайно універсальною платформою, яка знаходить застосування у різноманітних сферах автоматизації завдяки своїй багатofункціональності, доступності та підтримці сучасних технологій [9]. У

контексті автоматизації освітлення Raspberry Pi використовується в житлових, комерційних, промислових і громадських об'єктах, забезпечуючи ефективність, гнучкість і інтеграцію з іншими системами. Розглянемо детально ключові сфери його використання.

Житлові приміщення. У приватних будинках і квартирах Raspberry Pi часто використовується для автоматизації освітлення, створюючи комфорт і економію енергії. У спальних кімнатах Raspberry Pi може керувати нічними лампами, плавно зменшуючи їхню яскравість, щоб створити комфортні умови для засинання.

Офісні приміщення. В офісах автоматизація освітлення допомагає знизити енергоспоживання та підвищити комфорт працівників. Raspberry Pi виконує такі завдання. У великих офісах Raspberry Pi може керувати освітленням у коридорах, включаючи світло тільки тоді, коли працівники пересуваються між кімнатами.

У торгових центрах Raspberry Pi може забезпечувати адаптивне освітлення в магазинах, підсвічуючи конкретні вітрини або товарні зони.

Raspberry Pi є однією з найуніверсальніших і найефективніших платформ для автоматизації освітлення, яка поєднує в собі високу обчислювальну потужність, підтримку різноманітних периферійних пристроїв і модулів, а також доступність для широкого кола користувачів.

1.5. Висновки до розділу

У результаті проведеного аналізу автоматизованих систем освітлення (АСО) були виявлені ключові тенденції, особливості та перспективи використання сучасних технологій у розумних будинках та інших сферах. Розглянуто основні компоненти АСО, їх переваги, недоліки, а також методи оптимізації енергоспоживання, що забезпечують ефективне управління освітленням. Проведений аналіз підтверджує, що автоматизовані системи освітлення є важливим напрямком розвитку сучасних технологій у розумних будинках, офісах, громадських та промислових об'єктах.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1. Центральний вузол керування автоматичної системи освітленості

Raspberry Pi є універсальним мінікомп'ютером, що відкриває широкі можливості для розробки, моделювання та тестування прототипів комп'ютерних систем, які можна застосовувати у різних сферах діяльності. Завдяки своїй компактності та функціональності, цей пристрій є особливо актуальним для малого бізнесу, що прагне покращити робочі процеси або автоматизувати певні завдання. При цьому Raspberry Pi є вигідним рішенням для проєктів із обмеженим бюджетом або підвищеними ризиками впровадження повноцінних систем. Використання цього мінікомп'ютера допомагає скоротити витрати на розробку та тестування, що робить його ефективним інструментом для інновацій і реалізації нових ідей.

Завдяки доступній вартості, можливості підключення цифрових і аналогових сенсорів, відеокамер, а також наявності Wi-Fi модуля, Raspberry Pi створює зручне та ефективне середовище для моделювання і розробки прототипів систем. Його функціонал дозволяє використовувати цей мінікомп'ютер у навчальних, дослідницьких і практичних проєктах, орієнтованих на автоматизацію та оптимізацію. На рисунку 2.1 показано основні структурні елементи Raspberry Pi, які демонструють його архітектуру.

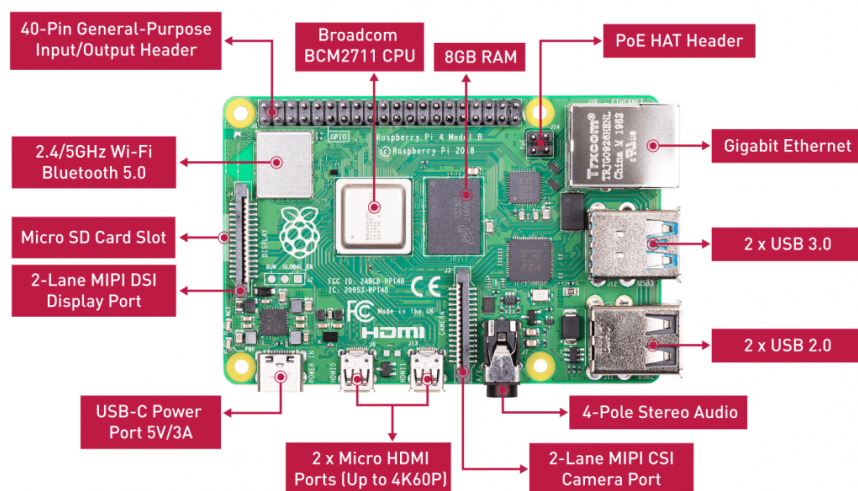


Рисунок 2.1 – Компоненти мінікомп'ютера Raspberry PI

Окрім основного використання Raspberry Pi для прототипування комп'ютерних систем, цей мінікомп'ютер має потенціал для виконання базових завдань, характерних для звичайного комп'ютера. Наприклад, Raspberry Pi може слугувати інструментом для роботи з табличними даними у табличних редакторах, створення та редагування текстових документів, обробки графічних матеріалів — як статичних, так і динамічних, а також виконувати інші нескладні завдання, які не потребують високої продуктивності.

Однією з головних переваг Raspberry Pi є його універсальний інтерфейс GPIO (General Purpose Input/Output), який робить пристрій особливо привабливим для інтеграції з різними зовнішніми компонентами. GPIO забезпечує можливість фізичного підключення периферійних пристроїв, розширюючи межі застосування Raspberry Pi у проектуванні та розробці.

Переваги та можливості інтерфейсу GPIO:

- Підключення пристроїв із різними напругами живлення. GPIO підтримує роботу з пристроями, що споживають напругу на рівні 3,3 В та 5 В. Ця функція дозволяє підключати широкий спектр периферійних пристроїв, таких як датчики, світлодіоди, реле, серводвигуни та інші модулі. Завдяки цьому Raspberry Pi легко масштабувати та адаптувати до потреб конкретного проєкту.
- Наявність окремих контактів для заземлення забезпечує стабільність роботи пристроїв та захищає як Raspberry Pi, так і підключені модулі від можливих стрибків напруги. Це також підвищує безпеку для користувача, особливо при роботі з електронними системами у середовищах, де можливі перепади напруги.
- GPIO дозволяє передавати управляючі сигнали між Raspberry Pi та периферійними пристроями. Це забезпечує взаємодію з різноманітними компонентами, такими як дисплеї, камери, мотори, або навіть цілі мікросхеми.
- GPIO виводи можна програмувати для виконання різних функцій. Один і той самий пін може працювати як вхідний (для прийому даних), так і вихідний (для передачі сигналів). Це забезпечує універсальність та

дозволяє створювати складніші системи без необхідності у додаткових апаратних засобах.

Приклади практичного застосування:

- Розумні будинки: Raspberry Pi може бути використаний як центральний вузол для керування освітленням, вентиляцією, безпековими системами та іншими елементами інтелектуальної інфраструктури.
- Навчальні проекти: Завдяки простоті програмування GPIO, пристрій активно використовується у навчальних закладах для створення інтерактивних проектів, таких як роботи чи системи автоматизації.
- Промислові рішення: У промисловості Raspberry Pi може використовуватися для моніторингу виробничих процесів, збору даних із сенсорів або управління механізмами.

На рисунку 2.2 зображено схему виводів GPIO, що демонструє їхнє призначення та основні функціональні можливості. Це дозволяє зрозуміти, як ефективно використовувати кожен пін для конкретного завдання. Такий набір можливостей робить Raspberry Pi універсальним інструментом як для простих, так і для складних інженерних задач.

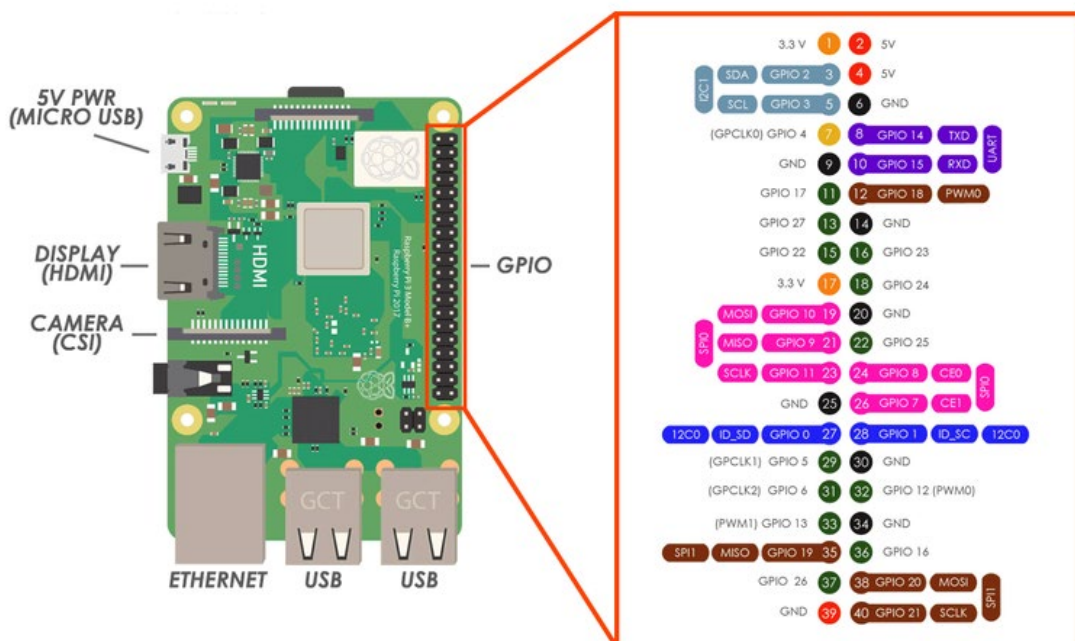


Рисунок 2.2 – Виводи GPIO

Для підключення плат розширення до Raspberry Pi передбачені спеціальні виводи, які мають маркери 27 (GPIO 0) і 28 (GPIO 1), як зображено на рисунку. Ці контакти можуть бути використані не лише для підключення плат розширення, але й для інтеграції зовнішніх периферійних пристроїв. Проте таке застосування потребує ретельного обґрунтування, оскільки не є їх основним призначенням. Некоректне використання цих виводів може призвести до нестабільної роботи системи або пошкодження обладнання.

Важливим аспектом підключення та проектування комп'ютерних систем з використанням Raspberry Pi є контроль параметрів живлення, які подаються на виводи інтерфейсу GPIO. Для забезпечення надійної роботи система має дотримуватись таких правил:

- **Обмеження сили струму:** Сила струму, що подається на виводи GPIO, не повинна перевищувати *50 мА*. Перевищення цього значення може спричинити пошкодження виводів або навіть вихід з ладу мікроконтролера.
- **Правильний вибір напруги:** Напруга живлення підключених пристроїв має відповідати номінальним параметрам *3,3 В* або *5 В*, що підтримуються Raspberry Pi. Використання іншої напруги без адаптації може пошкодити як мікроконтролер, так і периферійний пристрій.

На рисунку 2.3 подано детальну схему інтерфейсу GPIO з вказанням функцій кожного з виводів.

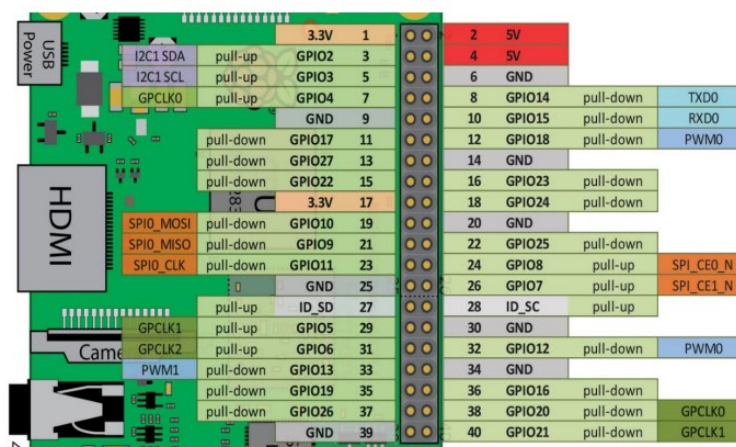


Рисунок 2.3 – Детальне подання інтерфейсу GPIO

Таким чином, Raspberry Pi забезпечує високу функціональність та гнучкість, що робить його універсальним рішенням для проєктування і розробки систем автоматизації, прототипування комп'ютерних систем та інших інженерних задач. Завдяки широкому набору інтерфейсів, таких як GPIO, I²C, SPI, та можливості інтеграції з різноманітними сенсорами, виконавчими механізмами та комунікаційними модулями, Raspberry Pi може бути адаптований для використання в різних галузях — від побутових «розумних» пристроїв до складних промислових систем.

Однак ефективна та безпечна робота цього мінікомп'ютера залежить від дотримання технічних умов і обмежень, таких як правильний вибір рівнів напруги, захист від перенапруги та короткого замикання, а також забезпечення належного охолодження під час роботи. Нехтування цими аспектами може призвести до збоїв у роботі системи або навіть до пошкодження апаратного забезпечення. Тому при використанні Raspberry Pi важливо враховувати всі ці фактори, щоб максимально розкрити його потенціал і забезпечити стабільну роботу у вибраній конфігурації.

2.2. Проектування апаратної архітектури та обґрунтування компонентів системи автоматичного регулювання освітленості

Апаратна архітектура системи управління освітленням є основою для створення енергоефективного, автоматизованого рішення, яке забезпечує адаптивне освітлення приміщення відповідно до реальних умов. Вона поєднує сучасні апаратні засоби, такі як мікроконтролери, сенсори та виконавчі механізми, для досягнення злагодженої роботи системи. Основна мета такої архітектури полягає у забезпеченні взаємодії між компонентами, яка дозволяє мінімізувати втрати енергії, підвищити комфорт користувачів і зменшити потребу у ручному втручанні.

Продумана архітектура дозволяє легко масштабувати систему та інтегрувати нові елементи без значних змін у її конструкції, що робить її

універсальною для різних застосувань: від домашніх проектів до комерційних і промислових рішень

У рамках цього розділу детально розглядаються компоненти апаратної частини, включаючи центральний контролер, датчики руху, освітленості, світлодіодні освітлювальні прилади, модулі реле та допоміжні пристрої, а також формується апаратна архітектура. Кожен елемент підбирається з урахуванням його технічних характеристик, сумісності з іншими елементами системи, а також специфіки умов експлуатації.

В ході дослідження ринку мною були обрані елементи для апаратної частини. Raspberry Pi 4 як центральний контролер, PIR-датчики для виявлення присутності, сенсор TSL 2561 для аналізу рівня природного освітлення, LED-лампи як джерела світла та модулі реле для керування електричними ланцюгами. Усі ці елементи з'єднуються в єдину систему, яка автоматично адаптує освітлення до умов, заощаджуючи енергію та забезпечуючи оптимальну освітленість.

Нижче описані всі компоненти системи управління освітленням з яких вона буде складатися:

- Raspberry Pi 4: Центральний контролер системи. Вибір на його користь обумовлений його потужністю, підтримкою багатозадачності, великою кількістю GPIO-виводів і можливістю інтеграції з мережею через Wi-Fi або Ethernet. Він є основним вузлом, що забезпечує обробку даних, прийняття рішень і комунікацію між компонентами.
- PIR-датчики: Використовуються для виявлення присутності людей у приміщенні. PIR-датчики працюють на основі інфрачервоного випромінювання, що дозволяє ефективно і з мінімальними затратами енергії визначати рух у зоні дії. Вони потрібні для активації системи освітлення лише тоді, коли це необхідно.
- TSL 2561: Цей сенсор вимірює рівень природного освітлення. Завдяки високій чутливості та підтримці протоколу I²C він забезпечує точний

моніторинг освітленості, що дозволяє адаптувати роботу LED-ламп, зменшуючи споживання енергії.

- LED-лампи: Джерела штучного освітлення, які відрізняються високою енергоефективністю, довговічністю та екологічністю. LED-лампи забезпечують яскраве світло за низького споживання електроенергії, що є ідеальним вибором для автоматизованих систем.
- Модулі реле: Ці компоненти служать для комутації електричних ланцюгів LED-ламп, забезпечуючи безпечне керування ними через Raspberry Pi. Вони мають просту конструкцію, що робить їх надійним і доступним рішенням для системи.

Головні компоненти для побудови системи продубльовано в таблиці 2.1. У таблиці також вказано причини вибору кожного компонента, їх основні переваги та відповідність вимогам розробленої системи автоматичного управління освітленням. Такий підхід дозволяє об'єктивно оцінити кожен елемент і обґрунтувати його використання в системі.

Таблиця 2.1 – Основні апаратні компоненти системи

Компонент	Функція	Причина вибору
Raspberry Pi 4	Центральний контролер	Висока продуктивність, IoT-підтримка
PIR-датчики	Виявлення руху	Низьке споживання енергії
TSL 2561	Датчик освітленості	Висока точність вимірювань
LED-лампи	Освітлювальні пристрої	Енергоефективність, довговічність
Модулі реле	Управління освітленням	Захист низьковольтної електроніки

В таблиці 2.2 проведено порівняння вибраних елементів з їх конкурентами.

Таблиця 2.2 – Порівняння компонентів із конкурентами

Компонент	Альтернатива	Переваги вибраного елемента	Недоліки вибраного елемента
Raspberry Pi 4	Arduino Uno	Більша продуктивність, підтримка Wi-Fi	Вища вартість
PIR-датчики	УЗ-датчики руху	Простота, енергоефективність	Менша чутливість до дрібних рухів
TSL 2561	BH1750	Точність вимірювань	Дорожчий у порівнянні
LED-лампи	Галогенні лампи	Довговічність, енергоефективність	Вища початкова ціна
Модулі реле	Твердотільні реле	Низька ціна, простота	Обмежена довговічність

Для забезпечення стабільної та ефективної роботи системи автоматичного управління освітленням, важливо чітко розуміти, як окремі компоненти взаємодіють між собою та як вони інтегруються в єдиний цикл управління. Кожен елемент системи має свою функціональну роль, а їх злагоджена робота забезпечує точність і надійність процесу. Логіка роботи системи включає послідовність дій, які виконуються для аналізу умов, прийняття рішень та виконання відповідних команд.

Схема, представлена на рисунку 2.4, демонструє весь процес функціонування системи, починаючи від зчитування даних із сенсорів до активації або деактивації освітлення через реле. На першому етапі дані надходять від сенсорів PIR, що фіксують рух, та сенсора TSL 2561, який аналізує рівень освітленості. Далі інформація обробляється контролером Raspberry Pi, який на основі отриманих значень приймає рішення про подальші дії системи. Контролер віддає відповідні команди на релейні модулі, що керують подачею живлення до LED-ламп. У результаті система реагує на зміну умов у режимі реального часу, забезпечуючи необхідний рівень освітлення.

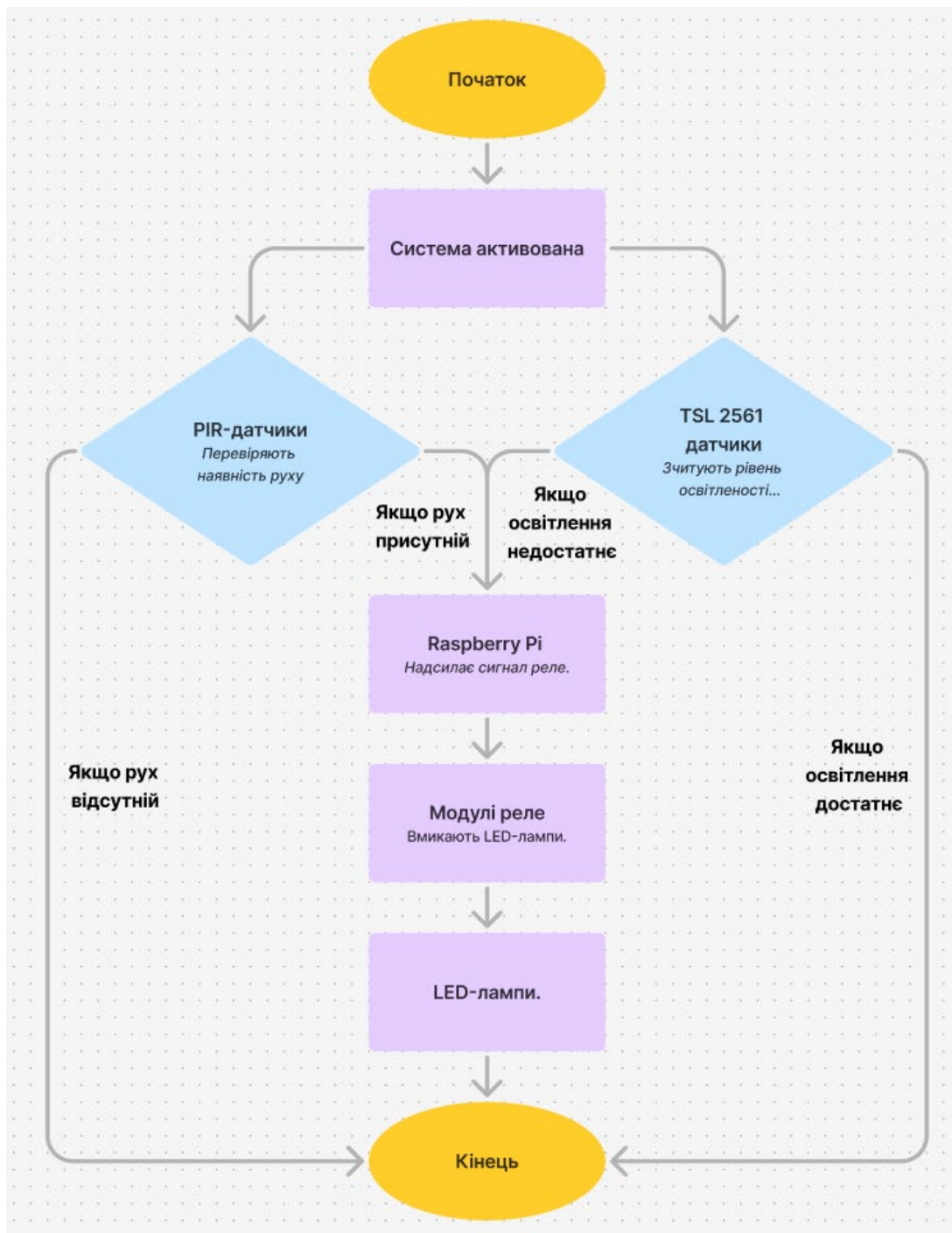


Рисунок 2.4 – Загальна блок-схема взаємодії компонентів системи

Також у системі передбачене опціональне відключення датчиків руху або освітлення при потребі, що забезпечує гнучкість у налаштуванні та використанні системи. Така функція може бути необхідна деяким користувачам, наприклад, у випадках, коли автоматичне виявлення руху не є потрібним або бажаним, або коли рівень освітлення контролюється вручну для досягнення специфічних умов комфорту чи економії енергії. Схема роботи в обмеженому режимі представлена на рисунку 2.5.

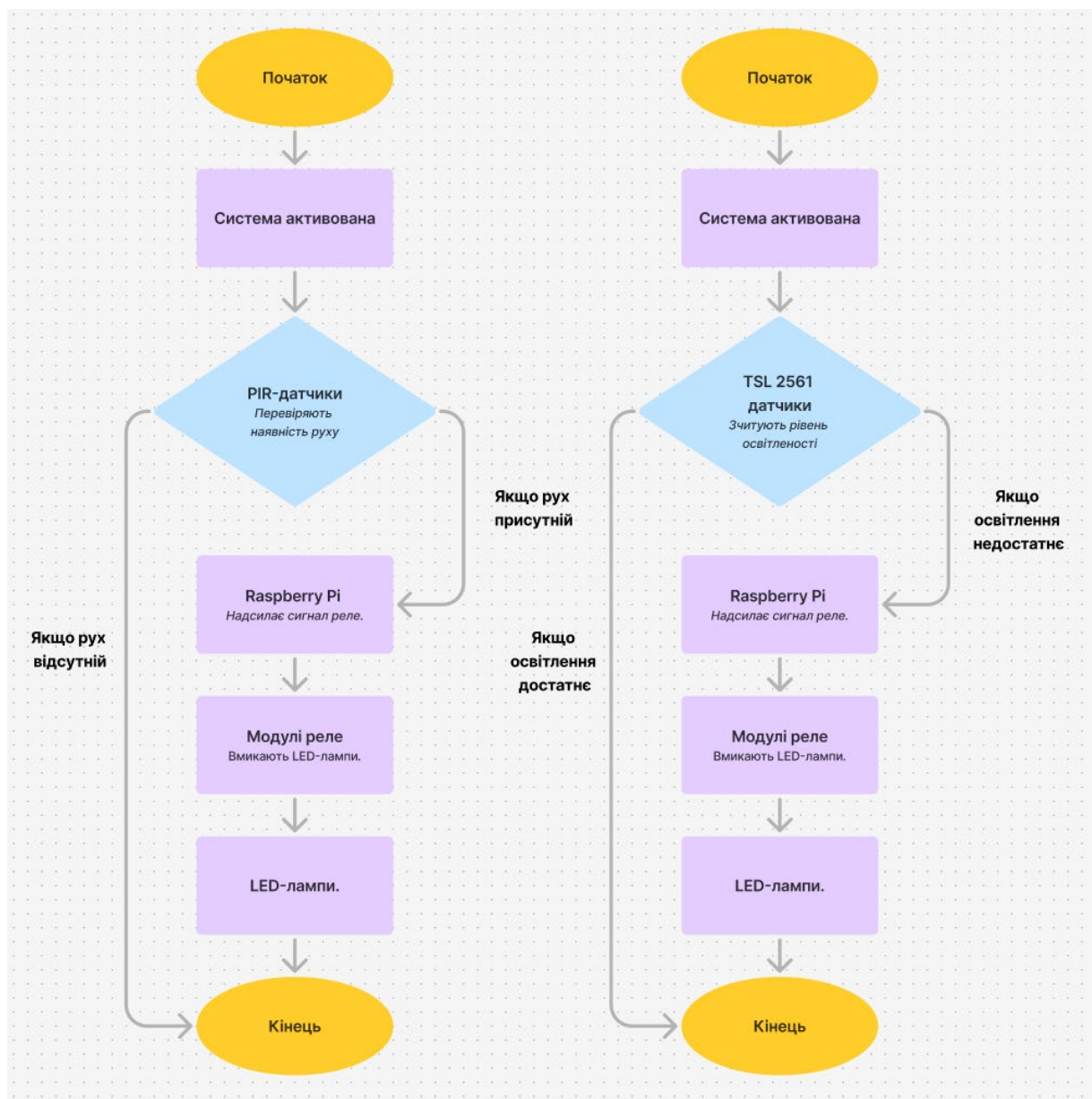


Рисунок 2.5 – Схема роботи в обмеженому режимі

Також у системі передбачено два варіанти запуску: ручний та дистанційний. Ручний режим активується безпосередньо через фізичний вимикач, що забезпечує швидкий і зручний контроль освітлення у локальному режимі. Дистанційний запуск, у свою чергу, дозволяє активувати систему зі смартфона або ПК через інтернет-з'єднання завдяки інтегрованому веб-інтерфейсу. Це забезпечує можливість віддаленого керування системою у будь-який час та з будь-якого місця, що особливо зручно для моніторингу і контролю у великих приміщеннях або при відсутності користувача на місці. Принцип роботи продемонстровано на рисунку 2.6.

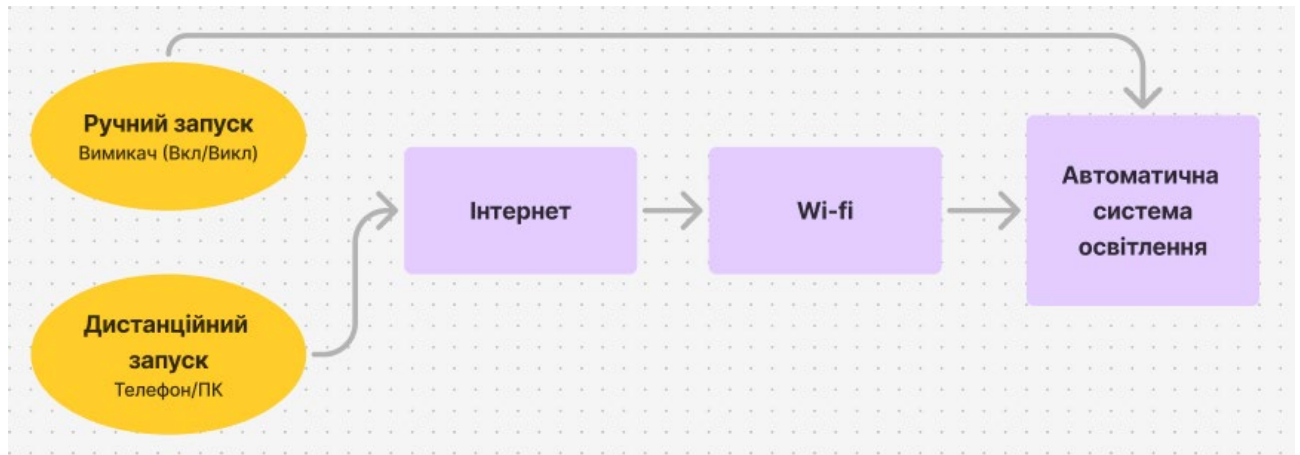


Рисунок 2.6 – Варіанти запуску системи

У процесі проєктування системи, а також під час налаштування параметрів і програмування мінікомп'ютера Raspberry Pi, використовується ноутбук або персональний комп'ютер. Ці пристрої забезпечують зручний інтерфейс для роботи з програмним забезпеченням Raspberry Pi, виконання команд у терміналі, написання та завантаження скриптів, а також перевірки коректності роботи системи. Для забезпечення дистанційного доступу до системи на Raspberry Pi потрібно створити web-сервер. Він дозволяє, за допомогою авторизації, керувати компонентами системи та змінювати графік роботи джерел штучного освітлення.

У цьому розділі було розроблено та детально проаналізовано апаратну архітектуру системи автоматичного регулювання освітлення, що базується на використанні мінікомп'ютера Raspberry Pi 4 як центрального вузла управління. Завдяки цьому компоненту забезпечено обробку даних від сенсорів, координацію роботи виконавчих пристроїв та можливість віддаленого моніторингу і керування системою. Було обґрунтовано вибір основних апаратних елементів, які забезпечують стабільну і ефективну роботу системи.

2.3 Розробка схем підключення компонентів системи автоматичного регулювання освітлення

Система автоматичного регулювання освітлення є комплексом технічних рішень, що поєднують сенсори, виконавчі механізми та мікроконтролер для ефективного керування штучним освітленням у приміщенні. Розробка схем

підключення є важливим етапом, оскільки від правильності підключення компонентів залежить стабільність роботи всієї системи. Взаємодія між сенсорами (TSL 2561 і PIR), виконавчими елементами (модулі реле) та джерелами світла (LED-лампи) здійснюється через центральний вузол керування – Raspberry Pi 4.

Схеми, представлені у цьому підрозділі, демонструють конкретні способи інтеграції всіх апаратних елементів у єдину функціональну систему. Кожен компонент виконує свою ключову роль: сенсори збирають дані, контролер аналізує отриману інформацію, а модулі реле керують лампами, забезпечуючи автоматичну адаптацію освітлення до умов у приміщенні.

2.3.1 Схеми підключення сенсора освітленості TSL 2561

Сенсор TSL 2561 є цифровим датчиком, що працює на основі інтерфейсу I²C. Завдяки цьому інтерфейсу він здатен передавати дані про рівень освітлення у цифровому форматі, що робить його ідеальним для інтеграції з Raspberry Pi. Сенсор вимірює інтенсивність світла у двох спектрах – інфрачервоному та видимому, що дозволяє отримати точні показники незалежно від джерела світла.

Етапи підключення сенсора TSL 2561 передбачають використання чотирьох основних контактів:

- VCC підключається до виводу живлення 3.3V на Raspberry Pi, що забезпечує стабільне живлення для сенсора.
- GND підключається до загального контакту землі.
- SDA (Serial Data Line) з'єднується з виводом GPIO2 (I2C Data) для передачі даних.
- SCL (Serial Clock Line) підключається до GPIO3 (I2C Clock) для синхронізації передачі даних.

Сенсор постійно вимірює рівень освітленості та передає дані на Raspberry Pi через інтерфейс I²C. Контролер обробляє отриману інформацію та приймає рішення про необхідність вмикання або вимикання LED-ламп. Сенсор TSL 2561 є високоточним і здатний працювати у динамічному діапазоні, що дозволяє

системі адаптуватися до різних умов освітлення у приміщенні. Схему підключення наведено на рисунку 2.7.

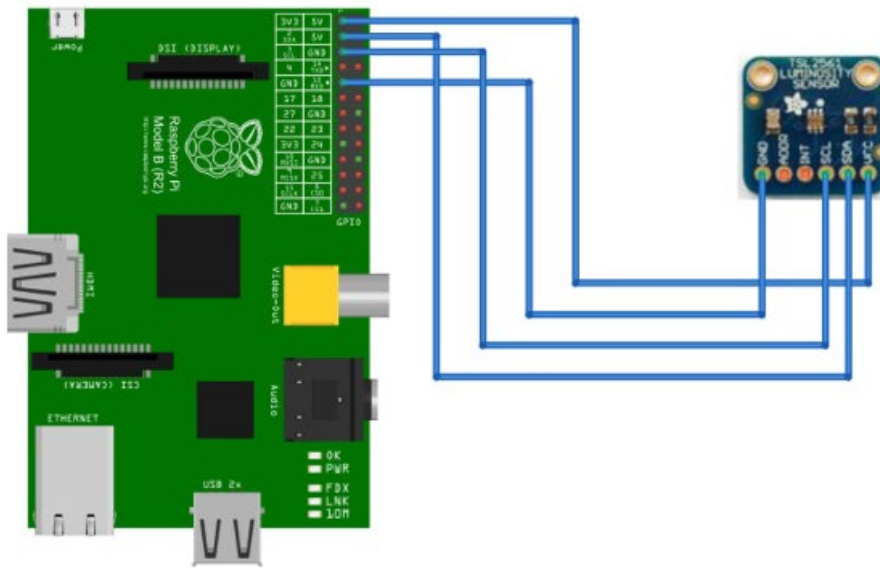


Рисунок 2.7 – Схема підключення сенсора освітленості TSL 2561

2.3.2 Підключення PIR-датчиків руху

PIR-датчики є невід'ємною частиною системи, оскільки вони дозволяють визначати присутність людей у приміщенні. Принцип роботи PIR-датчика базується на виявленні інфрачервоного випромінювання, яке виходить від людини. Завдяки цьому датчик може зафіксувати рух та передати сигнал на центральний контролер. Підключення PIR-датчика передбачає використання трьох основних контактів:

- VCC підключається до виводу 5V на Raspberry Pi для забезпечення живлення.
- GND з'єднується із загальним контактом землі.
- OUT підключається до одного з GPIO-виводів, наприклад, GPIO27, для передачі сигналу про наявність руху.

При виявленні руху PIR-датчик генерує сигнал на вихідному контакті OUT. Цей сигнал надходить на Raspberry Pi, де він обробляється програмою управління. Якщо система зафіксує рух, а рівень освітлення недостатній (за даними TSL 2561), контролер активує реле для увімкнення освітлення. Завдяки такому

підключенню система реагує лише у відповідь на конкретні умови, що забезпечує економію енергії.

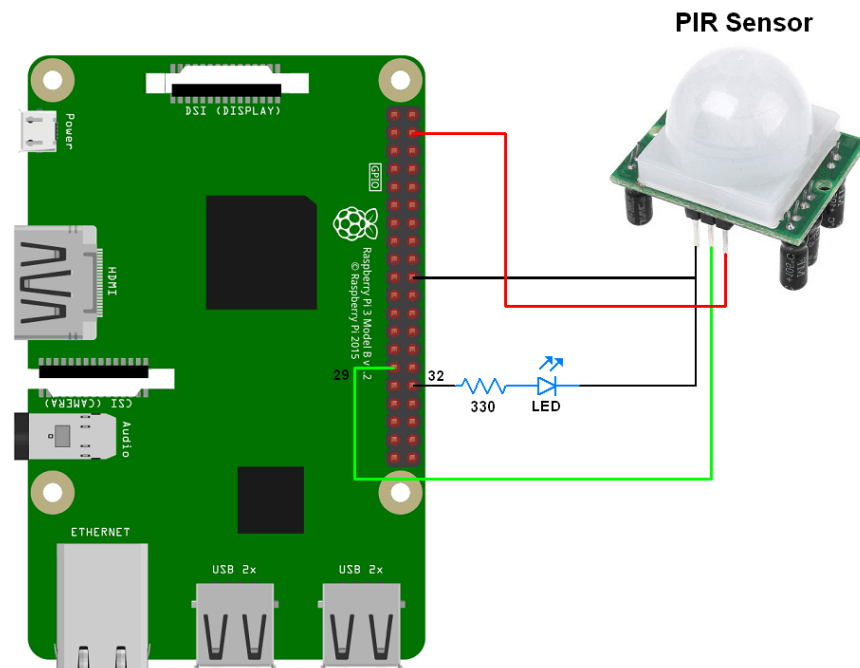


Рисунок 2.8 – Схема підключення PIR-датчика руху

2.3.3 Реле управління освітленням

Модуль реле є одним із ключових компонентів системи автоматичного регулювання освітлення, оскільки він виконує функцію комутації ланцюгів живлення освітлювальних приладів. Завдяки своїй універсальності та здатності працювати з високовольтними навантаженнями, реле дозволяє керувати вмиканням та вимиканням LED-ламп за допомогою низьковольтних сигналів, що генеруються Raspberry Pi. Особливу увагу в системі приділено 4-канальному модулю реле, який забезпечує одночасне керування чотирма незалежними ланцюгами. Чотирьох каналний модуль реле дозволяє з мінімальними витратами підключити декілька LED-ламп та забезпечити їх автоматичне управління на основі отриманих даних із сенсорів системи. Його застосування забезпечує стабільність і надійність роботи, а також дозволяє ефективно ізолювати низьковольтну логіку мікроконтролера від високовольтного живлення освітлювальних приладів.

Для підключення модуля реле до Raspberry Pi використовується декілька контактів, кожен з яких виконує свою функцію:

- Контакт VCC модуля підключається до виводу 5V на Raspberry Pi. Це забезпечує необхідне стабільне живлення для роботи реле.
- Контакт GND підключається до загального виводу GND Raspberry Pi для з'єднання ланцюга заземлення.

Сигнальні входи модуля реле (IN1, IN2, IN3, IN4) відповідають за керування окремим реле. Вони підключаються до GPIO-виводів Raspberry Pi:

- IN1 → GPIO17
- IN2 → GPIO27
- IN3 → GPIO22
- IN4 → GPIO23

GPIO-виводи генерують сигнали низької напруги (3.3V), що активують відповідні реле, замикаючи або розмикаючи ланцюг навантаження. Схема підключення реле до Raspberry Pi зображена на рисунку 2.9

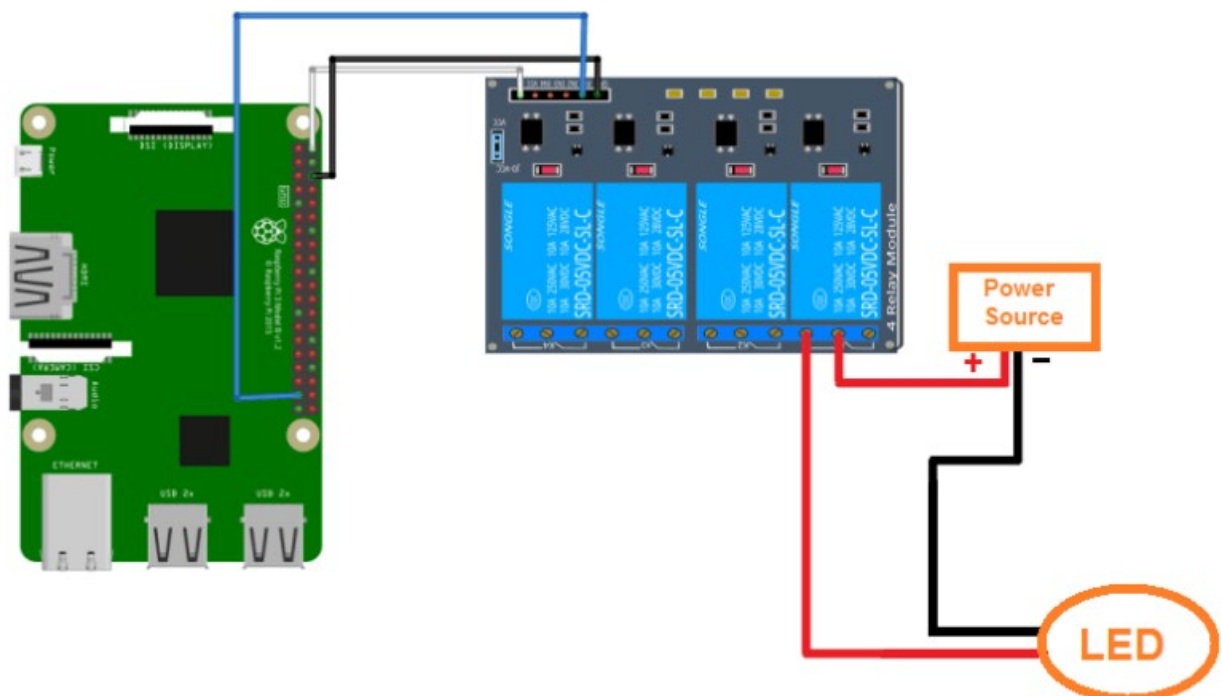


Рисунок 2.8 – Схема підключення реле

Raspberry Pi здійснює аналіз сигналів, що надходять від сенсорів освітленості TSL 2561 та PIR-датчиків руху. У разі, якщо зафіксовано

недостатній рівень освітленості або виявлено рух, мікроконтролер формує сигнал на відповідний GPIO-вивід. Цей сигнал передається на вхідний контакт IN модуля реле, що активує електромагнітний механізм і замикає контакт NO з COM. В результаті ланцюг живлення LED-лампи замикається, і лампа вмикається. При зміні умов, коли природне освітлення стає достатнім або рух перестає фіксуватися, сигнал на GPIO припиняється. Це призводить до розмикання контакту реле, який повертається у початковий стан, і лампа вимикається.

Таким чином, 4-канальний модуль реле є надійним і ефективним рішенням для систем автоматичного регулювання освітлення, дозволяючи гнучко керувати кількома LED-лампами одночасно. Правильне підключення забезпечує стабільну роботу системи та захищає мікроконтролер від можливих електричних пошкоджень.

Вище було проаналізовано схеми підключення основних компонентів системи автоматичного регулювання освітлення на базі Raspberry Pi 4. Було розглянуто підключення сенсора освітленості TSL 2561, який використовує інтерфейс I²C для передачі даних про рівень освітлення, а також PIR-датчиків для виявлення руху у приміщенні. Окремо було описано підключення 4-канального модуля реле, що дозволяє керувати живленням LED-ламп у відповідь на команди, отримані від центрального контролера Raspberry Pi.

Представлені схеми демонструють взаємодію між усіма компонентами системи, забезпечуючи їх злагоджену роботу. Обробка даних від сенсорів освітленості та руху дозволяє Raspberry Pi приймати рішення про активацію або деактивацію освітлення через модулі реле. Це забезпечує автоматичне регулювання освітлення у приміщенні, підвищуючи енергоефективність та створюючи комфортні умови для користувачів. Правильна організація схем підключення гарантує стабільну роботу системи та можливість її подальшого розширення або модернізації.

2.4 Розрахунки енергоефективності системи

Енергоефективність системи автоматичного регулювання освітлення (АСО) є одним із основних показників, що визначають її переваги у порівнянні зі звичайним освітленням. Використання сенсора освітленості TSL 2561, PIR-датчиків руху та керованих реле дозволяє адаптувати роботу світильників до реальних умов освітлення та присутності людей у приміщенні. Це дозволяє уникати надмірного енергоспоживання та досягти значної економії електроенергії. У цьому підрозділі буде проведено розрахунок енергоефективності системи АСО та порівняння з традиційною системою освітлення на основі вигаданих вхідних даних, що відповідають реальним умовам експлуатації.

Для проведення порівняння між звичайним освітленням і автоматизованою системою АСО приймаються такі вихідні дані:

1. Площа приміщення: *50 м²*
2. Кількість лампочок: *10 одиниць*
3. Потужність одного світильника: *15 Вт (LED-лампи)*
4. Час роботи освітлення:
 - У звичайній системі освітлення – *12 годин* на добу
 - В автоматизованій системі (АСО) – *6 годин* активної роботи завдяки автоматичному регулюванню (з урахуванням наявності руху та природного освітлення).
5. Тариф на електроенергію: *4,30 грн за 1 кВт·год*
6. Коефіцієнт використання освітлення:
 - Звичайне освітлення – *100 %* часу.
 - АСО – близько *50 %* часу завдяки автоматичному вимкненню ламп за відсутності руху або при достатньому природному освітленні.

Розрахунок споживання електричної енергії для традиційних систем освітлення виконується за спеціальною формулою, що дає змогу точно визначити обсяг електроенергії, який споживається освітлювальними приладами протягом заданого проміжку часу. Цей розрахунок базується на таких ключових

параметрах, як номінальна потужність світильників, кількість використовуваних приладів та тривалість їх роботи в годинах. Формула дозволяє отримати об'єктивні дані для подальшого аналізу енергоефективності та оптимізації витрат на електроспоживання.

Розрахунок споживання у звичайній системі освітлення.

$$E_{\text{звичайне}} = P \cdot N \cdot T$$

де:

- P – потужність однієї лампочки ($Вт$),
- N – кількість лампочок,
- T – час роботи лампочок (*годин на добу*).

$$E_{\text{звичайне}} = 15 \text{ Вт} \cdot 10 \text{ лампочок} \cdot 12 \text{ годин} = 1800 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 1.8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

За 30 днів споживання становитиме:

$$E_{\text{звичайне}} = 1.8 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 30 = 54 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Споживання в автоматизованій системі освітлення (АСО). Для АСО враховується, що світильники працюють лише половину часу завдяки сенсорам руху та освітленості. Формула виглядає так:

$$E_{\text{АСО}} = P \cdot N \cdot T_{\text{АСО}}$$

де $T_{\text{АСО}} = 6$ годин на добу

$$E_{\text{АСО}} = 15 \text{ Вт} \cdot 10 \text{ лампочок} \cdot 6 \text{ годин} = 900 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 0.9 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

За 30 днів споживання становитиме:

$$E_{ACO_місяць} = 0.9 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 30 = 27 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Витрати на електроенергію для звичайного освітлення

$$C_{звичайне} = E_{звичайне_місяць} \cdot \text{тариф}$$

$$C_{звичайне} = 54 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 4,30 \text{ грн} = 232.2 \text{ грн}$$

Витрати на електроенергію для АСО

$$C_{ACO} = E_{ACO_місяць} \cdot \text{тариф}$$

$$C_{ACO} = 27 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot 4,30 \text{ грн} = 116.1 \text{ грн}$$

Використання автоматизованої системи освітлення дозволяє зменшити витрати електроенергії вдвічі. Це призводить до економії у 116.1 грн на місяць для приміщення площею 50 м^2 з 10 лампочками. Результати продубльовані в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків

Параметр	Звичайне освітлення	АСО
Час роботи на добу (год)	12	6
Споживання на добу (кВт·год)	1.8	0.9
Споживання на місяць (кВт·год)	54	27
Витрати на електроенергію (грн/місяць)	232.2	116.1

Порівняння ефективності роботи звичайної системи освітлення та автоматизованої системи освітлення на базі Raspberry Pi детально проаналізовано й наочно представлено у вигляді графіка на рисунку 2.9, який демонструє різницю у споживанні електроенергії та загальній енергоефективності обох підходів.

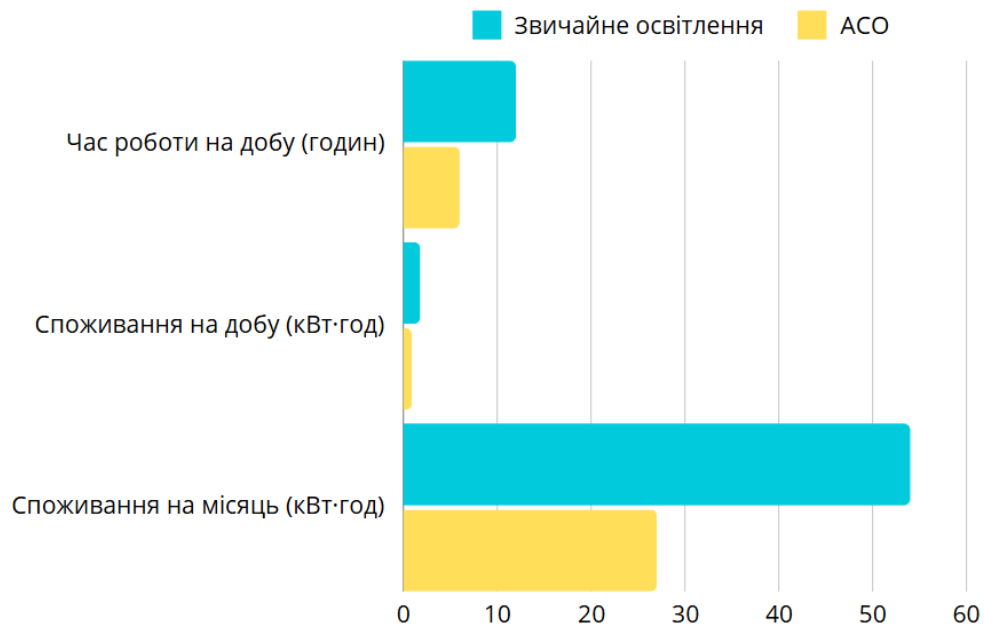


Рисунок 2.9 – Споживання енергії у звичайному освітленні та АСО

Розрахунки показали, що автоматизована система освітлення на базі Raspberry Pi у поєднанні з сенсорами освітленості та руху дозволяє зменшити споживання електроенергії на 50 % у порівнянні зі звичайною системою. Економія витрат на електроенергію становить 116.1 грн на місяць при однакових умовах експлуатації, що робить таку систему особливо вигідною для довготривалого використання.

Окрім економічних переваг, автоматизація забезпечує комфорт у повсякденному житті, оскільки система автоматично адаптується до змін рівня природного освітлення та активності мешканців. Це дозволяє уникнути перевитрат енергії та забезпечує раціональне використання ресурсів. Також важливо зазначити, що оптимізація роботи ламп сприяє збільшенню їхнього терміну служби, що знижує витрати на обслуговування та заміну освітлювальних приладів у майбутньому. Таким чином, впровадження автоматизованої системи освітлення є економічно доцільним та практичним рішенням для сучасних потреб.

2.5 Характеристики протоколів передачі даних у системі автоматизованого регулювання освітлення

У системах автоматичного регулювання освітленості ефективність роботи значною мірою залежить від обраних протоколів передачі даних. Вони забезпечують взаємодію між різними компонентами, такими як датчики, реле, контролери та інші елементи. Нижче розглянуто основні протоколи, які можуть використовуватись у таких системах.

Протокол I²C (Inter-Integrated Circuit) є популярним протоколом для з'єднання сенсорів та мікроконтролерів завдяки своїй простоті та універсальності. Особливості протоколу:

- Двопровідна шина: використовує лінії SDA (дані) і SCL (сигнали тактування), що спрощує підключення.
- Багатопрістроєва підтримка: дозволяє з'єднувати кілька пристроїв на одній шині, що підходить для складних систем.
- Адресація: кожен пристрій отримує унікальну адресу, що унеможливорює конфлікти.
- Сумісність: I²C підходить для підключення сенсора TSL2561, забезпечуючи точну передачу даних про рівень освітленості до Raspberry Pi.

Протокол SMBus (System Management Bus) є варіантом I²C, оптимізованим для низькошвидкісних додатків з додатковими функціями управління:

- Відповідність стандарту: використовується в пристроях, де важливі стандарти сумісності та надійності.
- Підтримка переривань: знижує навантаження на центральний контролер, забезпечуючи миттєву реакцію на зміни.

Протокол GPIO (General Purpose Input/Output) дозволяє передавати прості сигнали для керування пристроями:

- Пряме управління: ідеально підходить для керування реле.
- Програмована гнучкість: контакти можуть використовуватись як вхідні або вихідні.
- Сумісність: Raspberry Pi використовує GPIO для активації реле та виконання дій відповідно до отриманих даних.

Для віддаленого керування та моніторингу системи освітлення використовується бездротовий протокол Wi-Fi:

- Широкий діапазон дії: дозволяє керувати системою через Інтернет.
- Інтеграція з хмарними сервісами: забезпечує доступ до даних у режимі реального часу.

Порівняння наведених вище протоколів подано в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Порівняння протоколів

Протокол	Призначення	Швидкість передачі	Складність реалізації	Енергоефективність
I ² C	Сенсори, мікроконтролери	Середня	Низька	Висока
SMBus	Управління пристроями	Низька	Низька	Висока
GPIO	Прості сигнали	Висока	Середня	Дуже висока
Wi-Fi	Віддалене керування	Висока	Висока	Низька

У даній роботі використовуються I²C для підключення сенсора освітленості, GPIO для управління реле та Wi-Fi для віддаленого контролю, що забезпечує баланс між продуктивністю, енергоефективністю та простотою реалізації

I²C — це протокол обміну даними, розроблений компанією Phillips Electronics, який широко застосовується у розробці комп'ютерних систем на базі мікроконтролерів. Його ефективність пояснюється тим, що для передачі даних потрібні лише два проводи, на відміну від протоколу SPI, який потребує щонайменше чотирьох.

Переваги I²C також полягають у підтримці численними бібліотеками, розробленими користувачами, і широкому асортименті компонентів, які сумісні з Raspberry Pi. Хоча I²C працює повільніше, ніж SPI, він залишається достатньо

швидким для повсякденних завдань. Як і SPI, цей протокол побудований на принципі взаємодії між головним пристроєм (master), наприклад, Raspberry Pi, і підлеглим пристроєм (slave), таким як дисплей, регістр зсуву або драйвер двигуна.

У протоколі I²C для з'єднання між пристроями використовується дві лінії:

- SCL (Serial Clock): головний пристрій генерує тактовий сигнал для синхронізації передачі даних.
- SDA (Serial Data): забезпечує передачу даних між усіма пристроями, підключеними до шини I²C.

Процес обміну даними починається з того, що головний пристрій (master) надсилає стартовий біт і семибітну шістнадцяткову адресу підлеглого пристрою (slave). Для встановлення з'єднання адреса, вказана головним пристроєм, має збігатися з адресою підлеглого. Після цього головний пристрій визначає, чи потрібно виконати операцію читання або запису (R/W), і отримує підтвердження (ACK) від підлеглого.

Увімкнення або вимкнення протоколу I²C на Raspberry Pi здійснюється через меню конфігурації. Для цього необхідно ввести в терміналі команду:

```
<sudo raspi-config>
```

Після запуску конфігурації необхідно за допомогою клавіш стрілок вибрати розділ «Interfacing Options», який містить налаштування взаємодії пристрою з різними периферійними модулями. Далі слід перейти до опції «P5 I2C Enable/Disable automatic loading of I2C kernel module» для активації підтримки протоколу I²C. Після підтвердження увімкнення протоколу система виконає необхідні дії для його активації, і на екрані з'явиться діалогове вікно, яке демонструє успішність виконаних операцій. Це вікно відображено на рисунку 2.15. Завершення цього етапу налаштування є важливим для забезпечення роботи інтерфейсу I²C та подальшої інтеграції пристроїв, що використовують цей протокол.

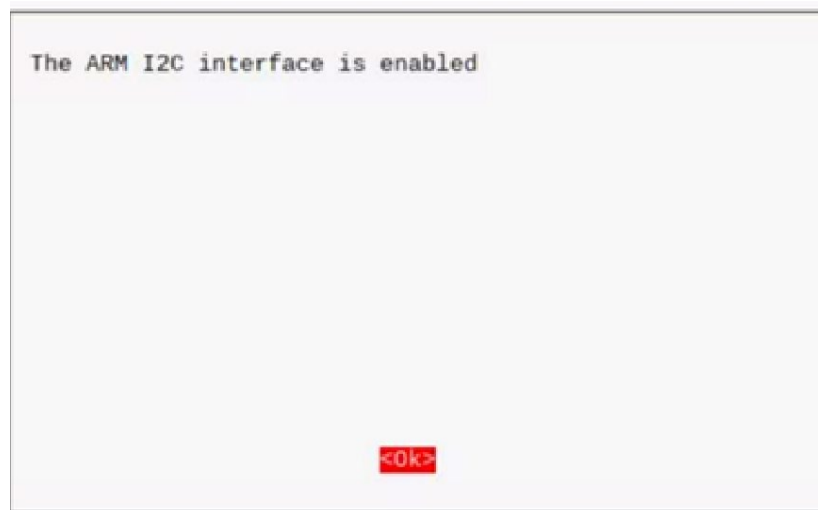


Рисунок 2.10 – Вікно підтвердження активації I²C

Аналогічно до SPI, для увімкнення підтримки I²C можна внести зміни у файл конфігурації `config.txt`. Щоб відкрити цей файл, у терміналі Raspberry Pi потрібно ввести таку команду:

<sudo nano /boot/config.txt>

Далі необхідно знайти стрічку коду `<#dtparam=i2c_arm=on>` і розкоментувати її, видаливши символ `#` на початку. Після внесення цих змін, фрагмент файлу конфігурації виглядатиме, як показано на рисунку 2.16. Ці дії активують підтримку I²C і дозволяють використовувати цей протокол для роботи з підключеними пристроями.

```
# Uncomment some or all of these to enable the optional hardware interfaces
dtparam=i2c_arm=on
#dtparam=i2s=on
```

Рисунок 2.11 – Активація I²C через файл конфігурації

Наступним ключовим етапом у процесі розробки є налаштування та створення програмного забезпечення, яке відповідатиме за керування всіма елементами системи. Це включає алгоритми обробки даних від сенсорів, автоматичне регулювання інтенсивності освітлення залежно від умов навколишнього середовища та заданих користувачем параметрів, а також функції віддаленого доступу для моніторингу та управління через мережу.

2.6 Проектування режимів роботи

Проектування режимів роботи є важливим етапом створення системи автоматичного регулювання освітлення (АСО). Режими визначають, як система реагуватиме на зовнішні умови, команди користувача та сигнали сенсорів. У цій системі передбачено кілька режимів роботи, які забезпечують її універсальність, зручність та ефективність. Враховуючи використання сенсорів освітленості TSL 2561, PIR-датчиків руху, модулів реле та можливості дистанційного й ручного керування, у розробці акцент зроблено на адаптивності та енергоефективності.

В ході роботи було спроектовано 5 основних режимів роботи які перераховані нижче.

1. Режим автоматичного освітлення

У цьому режимі система працює на основі даних, отриманих від сенсора TSL 2561 та PIR-датчиків. Raspberry Pi аналізує інформацію про рівень природного освітлення та наявність руху в приміщенні.

- Якщо рівень освітленості нижче встановленого порогу, а в приміщенні зафіксовано рух, система автоматично вмикає LED-лампи через реле.
- Якщо рух припиняється або рівень освітлення стає достатнім, лампи вимикаються для економії енергії.

2. Режим ручного керування

У цьому режимі користувач може керувати освітленням за допомогою фізичного вимикача, підключеного до системи.

- Вмикання або вимикання освітлення здійснюється вручну, незалежно від сигналів сенсорів.
- Даний режим корисний для ситуацій, коли автоматизація не потрібна або її робота тимчасово небажана.

3. Дистанційне керування через інтернет

Цей режим забезпечує можливість вмикати або вимикати освітлення за допомогою веб-інтерфейсу або програми на смартфоні, які взаємодіють із Raspberry Pi через мережу Wi-Fi.

- Користувач може вмикати або вимикати систему освітлення дистанційно, навіть перебуваючи поза приміщенням.
- У веб-інтерфейсі також передбачено функції моніторингу: відображення поточного стану ламп, рівня освітленості та активності датчиків.

4. Нічний режим

Цей режим забезпечує мінімальне освітлення у приміщенні для зручності пересування вночі.

- Система використовує лише один або два світильники, щоб створити комфортне середовище з мінімальним енергоспоживанням.
- Активується автоматично у встановлений час (наприклад, з 23:00 до 6:00) або за командою користувача.
- Інтенсивність освітлення може регулюватися за допомогою димерів.

5. Екстрений режим

Цей режим активується вручну або автоматично у разі спрацювання системи безпеки (наприклад, сигналізація).

- Усі лампи вмикаються одночасно для максимального освітлення приміщення.
- Режим забезпечує високу видимість у надзвичайних ситуаціях.

Блок-схема зображена на рисунку 2.12 роботи системи включає всі описані режими, демонструючи, як Raspberry Pi обробляє дані від сенсорів і команд користувача для керування освітленням. Вона відображає основні етапи роботи системи, починаючи з отримання даних від датчиків і закінчуючи виконанням команд, що контролюють освітлювальні прилади. Центральний контролер аналізує вхідні сигнали, зокрема від сенсорів освітленості та датчиків руху, і визначає відповідні дії залежно від обраного режиму роботи. Схема також передбачає обробку команд користувача, які можуть надходити як безпосередньо, через фізичні перемикачі, так і віддалено, через мобільний додаток. Завдяки цьому система демонструє високу адаптивність і забезпечує ефективне використання енергоресурсів у різних сценаріях.

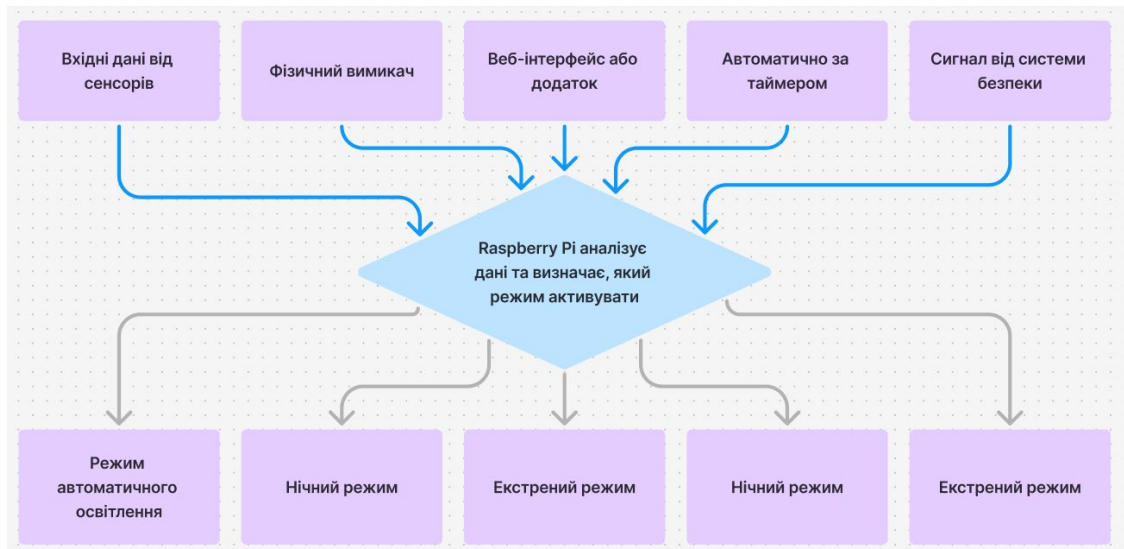


Рисунок 2.12 – Загальна блок-схема режимів роботи

Порівняння функціональних характеристик, особливостей реалізації та енергоефективності кожного з описаних режимів роботи представлено у таблиці 2.5, що дозволяє наочно оцінити переваги та специфіку кожного режиму.

Таблиця 2.5 – Порівняння режимів роботи

Режим	Спосіб активації	Особливості роботи	Енергоспоживання
Автоматичний	Дані від сенсорів	Реагує на рух та рівень освітлення	Мінімальне
Ручний	Фізичний вимикач	Освітлення вмикається вручну	Залежить від користувача
Дистанційне керування	Веб-інтерфейс або додаток	Користувач керує освітленням через інтернет	Залежить від умов
Нічний	Автоматично за таймером	Мінімальне освітлення для комфортного пересування	Дуже низьке
Екстрений	Сигнал від системи безпеки	Усі лампи вмикаються для забезпечення максимального світла	Високе

У цьому підрозділі розроблено та описано п'ять основних режимів роботи системи автоматичного регулювання освітлення: автоматичний, ручний,

дистанційний, нічний та екстрений. Кожен із режимів відповідає певному сценарію використання, забезпечуючи зручність, енергоефективність і функціональність системи. Представлена блок-схема роботи демонструє, як різні компоненти системи взаємодіють між собою для реалізації кожного режиму. Таке проектування дозволяє адаптувати систему до різних умов експлуатації, знижуючи енергоспоживання та підвищуючи комфорт користувачів.

2.7 Висновки до розділу

У проектно-конструкторському розділі магістерської роботи було детально розглянуто всі аспекти розробки автоматизованої системи управління освітленням (АСО) на базі Raspberry Pi. Основна мета цього розділу полягала у створенні ефективної, адаптивної та енергоефективної системи, здатної автоматично регулювати освітлення в приміщенні відповідно до зовнішніх умов та потреб користувача.

Розпочато роботу з визначення центрального вузла керування, яким став мінікомп'ютер Raspberry Pi 4, завдяки його високій продуктивності, підтримці протоколів I²C та GPIO і можливості інтеграції з численними сенсорами та виконавчими модулями. Цей пристрій забезпечує основну логіку роботи системи, обробку даних та прийняття рішень.

При проектуванні апаратної архітектури системи було визначено та обґрунтовано вибір ключових компонентів:

- Сенсор освітленості TSL 2561, який дозволяє точно вимірювати рівень навколишнього освітлення.
- PIR-датчики, що забезпечують виявлення руху в приміщенні.
- LED-лампи, як джерела штучного освітлення, відомі своєю енергоефективністю та тривалим терміном служби.
- Модулі реле, які виконують функцію виконавчих елементів для ввімкнення та вимкнення ламп.

Розроблено та описано схеми підключення всіх компонентів, що дозволяють забезпечити злагоджену роботу системи. Особлива увага

приділялася реалізації надійного з'єднання між сенсорами, виконавчими елементами та Raspberry Pi, з урахуванням електробезпеки та стабільності роботи.

У розділі також проведено розрахунки енергоефективності системи, які продемонстрували значне скорочення енергоспоживання у порівнянні зі звичайними системами освітлення. Використання адаптивного управління, ґрунтованого на даних сенсорів освітленості та руху, дозволяє зменшити витрати електроенергії до 50 %, що не лише економить ресурси, а й знижує витрати на утримання приміщень.

Окрему увагу приділено проектуванню режимів роботи системи. Було розроблено кілька основних режимів, кожен із яких відповідає конкретним сценаріям використання:

- Автоматичний режим, що працює на основі даних від сенсорів.
- Ручний режим, який надає користувачеві можливість самостійно керувати освітленням.
- Дистанційний режим, що дозволяє керувати системою через веб-інтерфейс.
- Нічний режим, який забезпечує мінімальне освітлення вночі.
- Екстрений режим, який активує всі лампи одночасно для максимального освітлення у критичних ситуаціях.

Важливим елементом розділу стала розробка програмного забезпечення. Було створено логіку роботи системи на базі Python із використанням бібліотек для роботи з GPIO, I²C та Flask для забезпечення веб-інтерфейсу. Програмне забезпечення інтегрує всі режими роботи, дозволяє зчитувати дані від сенсорів, керувати виконавчими елементами та взаємодіяти з користувачем через веб-інтерфейс.

Проектно-конструкторський розділ демонструє, що розроблена система є універсальною та ефективною. Вона забезпечує оптимальне освітлення в приміщенні, значно знижує енергоспоживання та надає користувачеві широкий спектр можливостей для управління. Завдяки модульному підходу до проектування апаратної частини та програмного забезпечення, система може

бути легко адаптована для роботи в інших умовах або розширена для виконання додаткових функцій.

Таким чином, виконані у розділі розробки та розрахунки повністю відповідають поставленим цілям і створюють міцну основу для подальшого впровадження системи у практичну експлуатацію.

3 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Моделювання та результат дослідження автоматизованої системи освітлення

Метою моделювання автоматизованої системи освітлення (АСО) є аналіз її роботи в умовах, максимально наближених до реальних, та оцінка ефективності розроблених алгоритмів управління. Система інтегрує апаратні компоненти (сенсори освітленості, PIR-датчики, модулі реле, лампи) та програмне забезпечення, що дозволяє оптимізувати енергоспоживання та забезпечити комфорт користувачів.

Для дослідження поведінки АСО створено моделі, які імітують реакцію системи на зміну рівня природного освітлення, активність руху та різні сценарії роботи. Результати моделювання дають змогу оцінити ефективність системи в порівнянні з традиційним освітленням і підтвердити відповідність її роботи заявленим алгоритмам. Для моделювання використовувалися параметри наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри для моделювання

Параметр	Значення
Рівень освітленості (Ранок, 6:00–9:00)	50 люкс – 100 люкс
Рівень освітленості (День, 9:00–17:00)	200 люкс – 300 люкс
Рівень освітленості (Вечір, 17:00–22:00)	50 люкс – 100 люкс
Рівень освітленості (Ніч, 22:00–6:00)	0 люкс – 50 люкс
Активність PIR-датчика (День-Ніч)	0 % – 10 %
Активність PIR-датчика (Ранок-Вечір)	80 %
Потужність лампи	12 Вт
Кількість ламп	4
Об'єкт моделювання - квартира	50 м ²
Сторона світу	захід

Використовуючи вище вказані параметри було проведено моделювання роботи системи. Моделювалося енергоспоживання у різних режимах, тестувалась взаємодія компонентів між собою та практичність використання такої системи.

Першим було змодельоване енергоспоживання протягом доби при використанні тільки датчиків світла рисунок 3.1. Такий роздільний тип моделювання необхідний для кращого розуміння роботи підсистем.

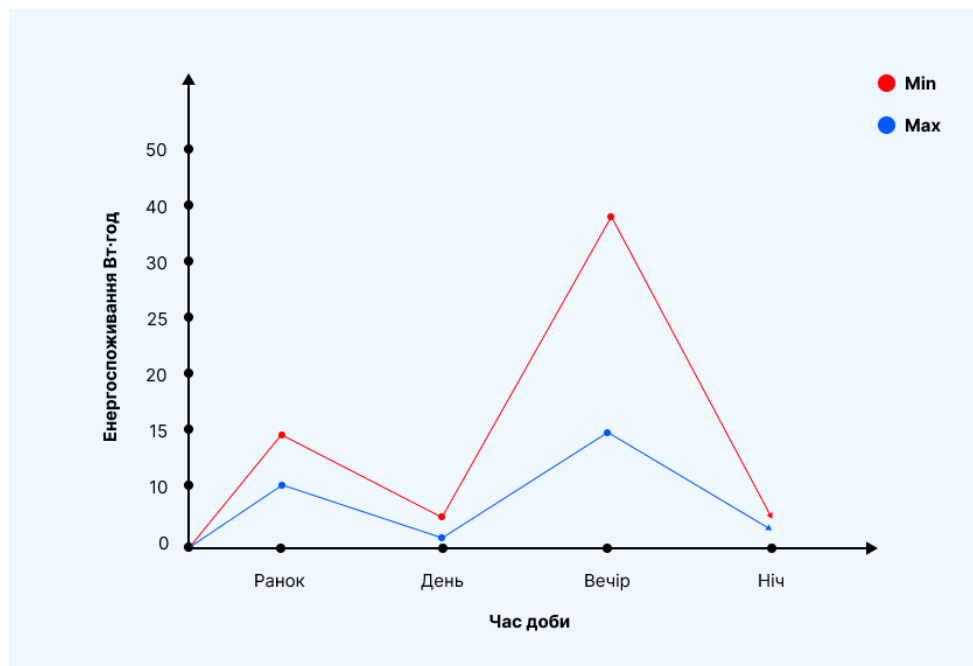


Рисунок 3.1 – Енергоспоживання протягом доби при використанні тільки датчиків світла

На цій діаграмі показано зміну енергоспоживання залежно від рівня природного освітлення протягом доби. Система активує лампи лише при рівні освітленості нижче *100 люкс*. Найменше споживання спостерігається вночі, коли рівень природного освітлення мінімальний, а кількість працюючих ламп оптимізовано.

Діаграма демонструє, що система здатна ефективно знижувати споживання енергії вдень за рахунок природного освітлення. У нічний час, коли рівень освітленості падає до *0 люкс – 50 люкс*, система активує мінімальну кількість ламп, забезпечуючи необхідний рівень освітлення.

Наступна діаграма рисунок 3.2 ілюструє зміну рівня природного освітлення залежно від часу доби. Вдень рівень освітленості сягає максимуму (200 люкс – 300 люкс), тоді як вночі він падає до мінімуму (0 люкс – 50 люкс).

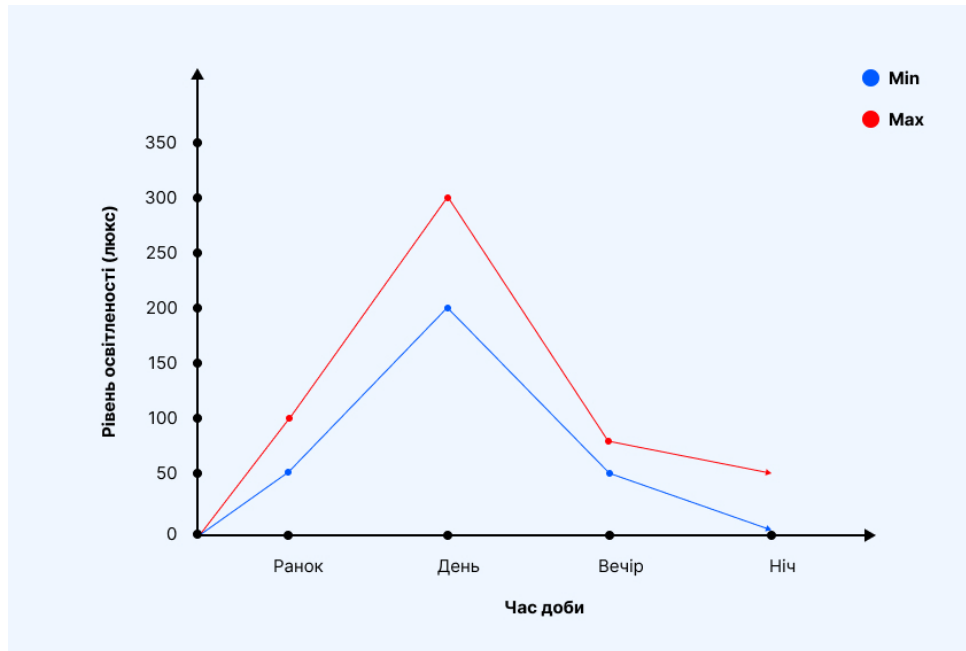


Рисунок 3.2 – Рівень освітленості протягом доби

Графік дозволяє зрозуміти, як змінюється освітленість протягом доби, і дає змогу налаштовувати систему для максимального використання природного світла вдень.

Порівнявши два графіки, можемо побачити чітку залежність енергоспоживання від часу доби та рівня освітлення, що відображено на рисунку 3.3. Це підтверджує, що система адаптується до змін умов освітлення, автоматично регулюючи роботу ламп.

Також при моделюванні потрібно враховувати кількість сонячних днів у році, сторони світу, куди виходять вікна, кліматичну зону та сезонні особливості, які можуть впливати на природну освітленість приміщення. Наприклад, у зимовий період тривалість дня суттєво скорочується, що призводить до збільшення навантаження на систему. Додатково варто звернути увагу на матеріали, з яких виготовлено вікна, та їх здатність пропускати природне світло, адже це може суттєво впливати на ефективність роботи системи.

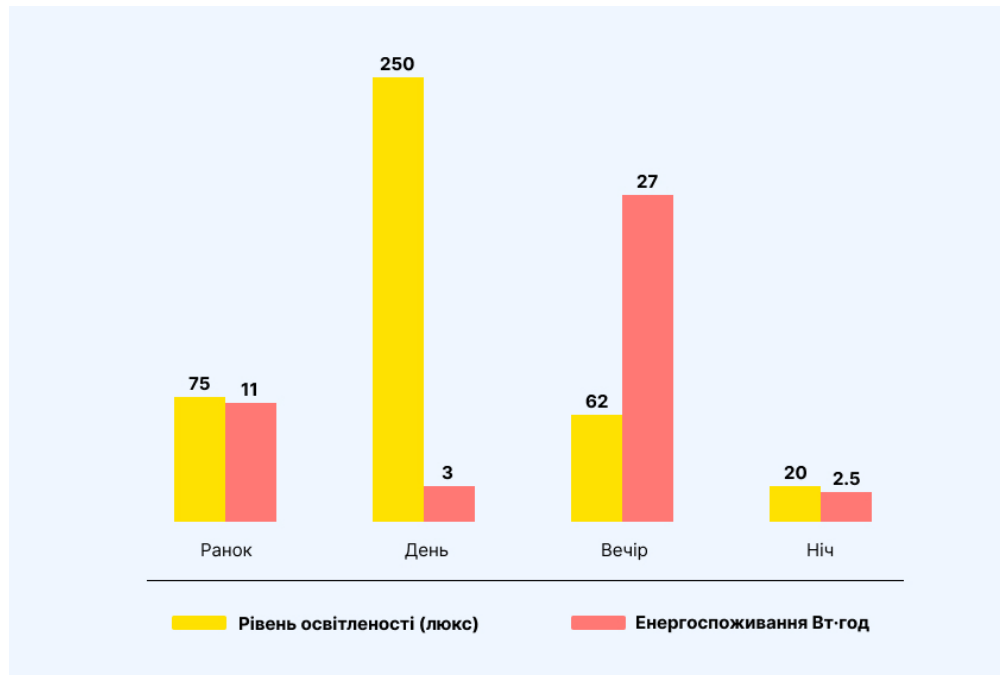


Рисунок 3.3 – Залежність енергоспоживання від рівня освітленості

На цій діаграмі показано, як змінюється енергоспоживання залежно від рівня природного освітлення. У системі активується різна кількість ламп залежно від освітленості: за рівня *0 люкс – 50 люкс* працюють усі 4 лампи, за *рівня 50 люкс – 100 люкс* – лише 2 лампи, а за понад *200 люкс* лампи залишаються вимкненими

Графік демонструє чітку кореляцію між рівнем природного освітлення і споживанням енергії. Завдяки цьому алгоритму система значно знижує споживання вдень, коли рівень природного світла високий. Наприклад, при освітленості *200+ люкс* система повністю переходить на природне освітлення, що мінімізує витрати енергії.

Аналіз цієї залежності поглиблює розуміння даних, представлених на попередніх графіках, і дозволяє оцінити ефективність роботи датчиків освітленості в умовах змін природного світла.

Наступна діаграма на рисунку 3.4 ілюструє, як змінюється активність PIR-датчика залежно від часу доби. Найбільша активність фіксується в зранку (*20 %*), та ввечері (*30 %*) і падає до мінімуму в день та вночі (*> 10 %*). Це пояснюється природними циклами активності мешканців: зранку та ввечері люди активно пересуваються між приміщеннями, зосереджуються у вітальнях чи кухнях, а в день і вночі більшість приміщень залишається без руху тому що мешканці на

роботі або сплять. Така адаптивна робота PIR-датчика дозволяє оптимізувати енергоспоживання, активуючи освітлення тільки за необхідності.

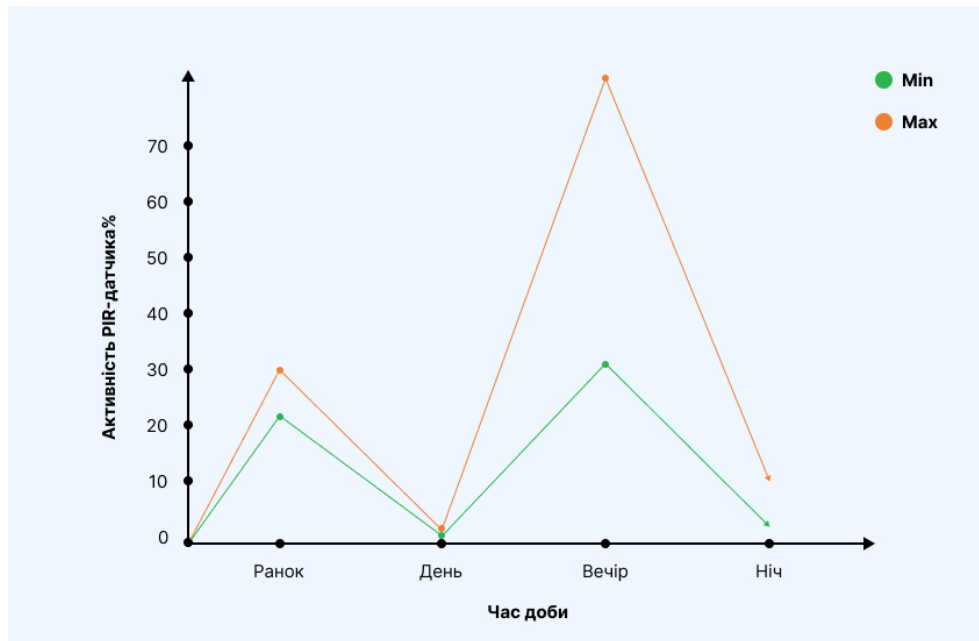


Рисунок 3.4 – Активність PIR-датчика протягом доби

PIR-датчик є ключовим компонентом у системі, що дозволяє вмикати освітлення лише за наявності руху. У денний час висока активність пояснюється великою кількістю руху, тоді як у нічний період активність суттєво знижується.

Активність PIR-датчика прямо впливає на частоту перемикачів реле, що буде детально розглянуто в наступному графіку.

Діаграма на рисунку 3.5 ілюструє, як змінюється частота перемикачів реле залежно від часу доби. Найбільша частота перемикачів спостерігається у вечірній час 96 перемикачів, коли мешканці активно переміщуються по квартирі, виконуючи побутові завдання. Помірна частота перемикачів відзначається вранці 27 перемикачів, коли рух зосереджений на підготовці до початку дня, наприклад, у кухні чи ванній кімнаті.

Протягом дня частота перемикачів реле падає до мінімуму, менше 10 перемикачів, оскільки більшість часу мешканці перебувають поза домом, а система залишається в енергоощадному стані. Вночі частота також залишається низькою 8 перемикачів, оскільки рух обмежується лише короткими переміщеннями. Такий розподіл частоти перемикачів реле дозволяє системі не

тільки зберігати енергію, а й знижувати знос механічних компонентів, забезпечуючи тривалу та надійну роботу в умовах змінної активності мешканців.

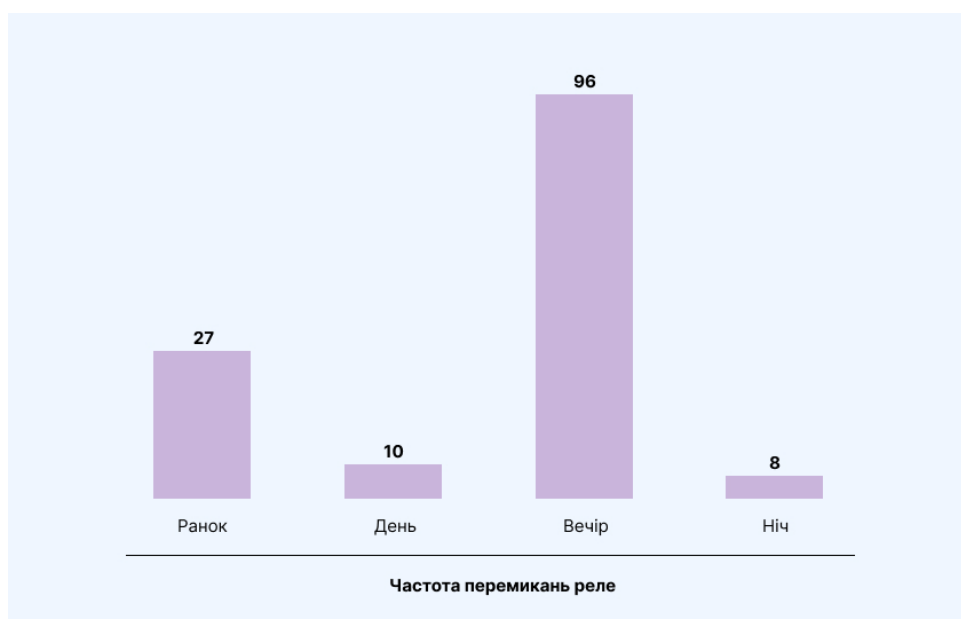


Рисунок 3.5 – Частота перемикань реле протягом доби

Також було змодельовано як змінюється енергоспоживання за умов використання тільки PIR-датчиків. Вони активують лампи лише за наявності руху, що дозволяє значно зменшити витрати енергії. Що відображено на рисунку 3.6.

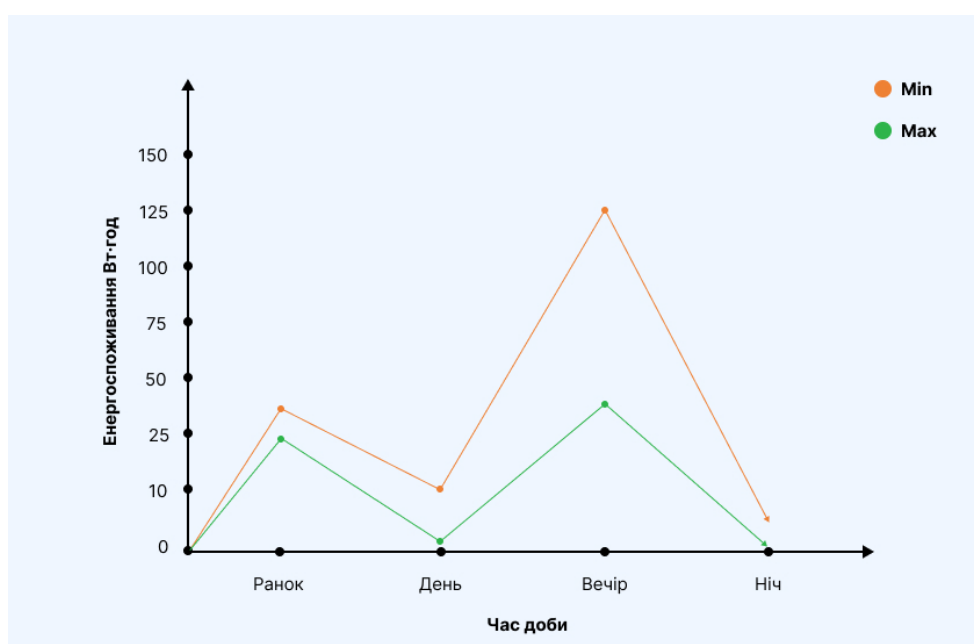


Рисунок 3.6 – Енергоспоживання при використанні тільки PIR-датчиків

Графік показує, що PIR-датчики є особливо ефективними в умовах обмеженого руху, наприклад у нічний час. Разом із датчиками освітленості це дозволяє створювати багатофункціональні алгоритми управління освітленням. Використання PIR-датчиків доповнює роботу датчиків освітленості, утворюючи єдину комбіновану систему.

Проаналізувавши роботу PIR датчиків ми можемо вибудувати наступну залежність рисунок 3.7.

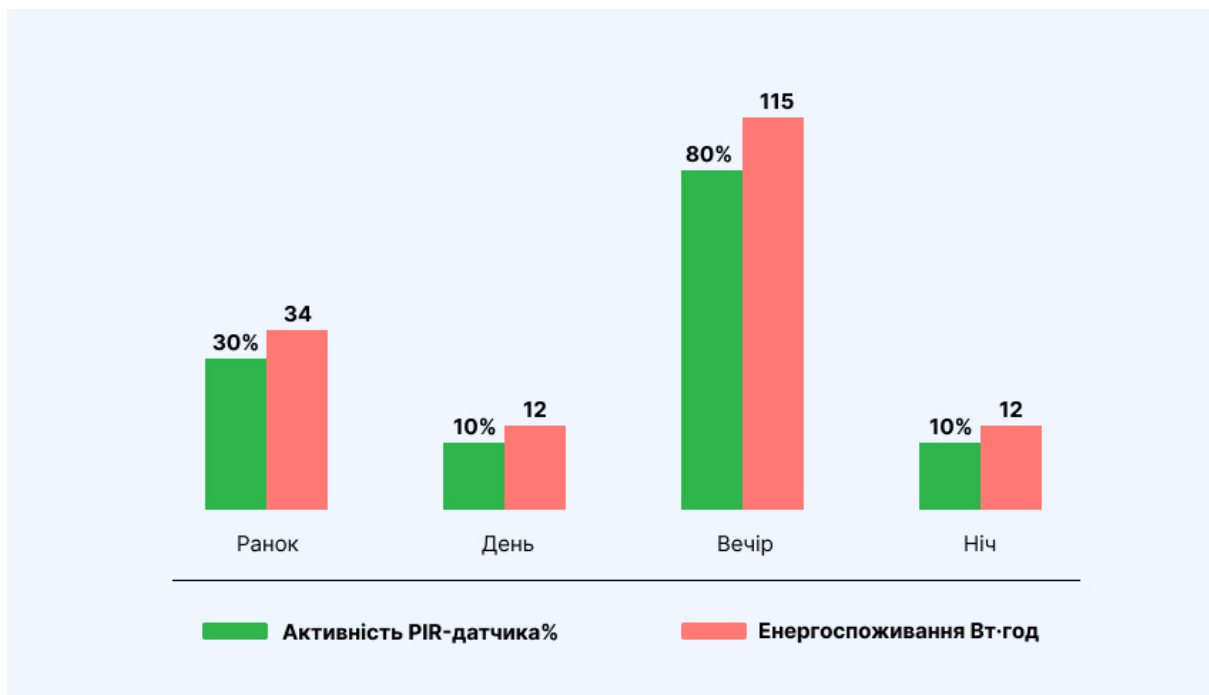


Рисунок 3.7 – Залежність енергоспоживання від активності PIR датчиків

Результати моделювання показують, як енергоспоживання змінюється в залежності від активності PIR-датчиків у різні періоди доби:

- Вечір (80 % активності): Споживання сягає максимуму через високу активність руху. У цей період мешканці часто пересуваються по приміщеннях, і лампи вмикаються до 96 разів, що призводить до приблизно 115 Вт·год споживання.
- Ранок (30 % активності): Активність помірна, рух сконцентрований у кількох зонах (кухня, ванна кімната). Споживання зменшується до 34 Вт·год, адже лампи вмикаються близько 27 разів.

- День ($>10\%$ активності): Споживання є мінімальним, оскільки більшість мешканців перебувають поза домом. Лампи активуються приблизно 10 разів, а споживання становить $10 \text{ Вт} \cdot \text{год}$.
- Ніч ($>10\%$ активності): Подібно до дня, споживання залишається низьким – близько $10 \text{ Вт} \cdot \text{год}$, через обмежені переміщення мешканців (10 активацій ламп).

Залежність енергоспоживання від активності PIR-датчиків підтверджує ефективність адаптивного алгоритму управління освітленням. Це підхід забезпечує оптимальне використання енергії, підтримуючи баланс між комфортом користувачів і економією ресурсів. Комбіноване використання PIR-датчиків із сенсорами освітленості дозволяє зменшити загальні витрати енергії, що підтверджено на наступній діаграмі рисунок 3.8 .

Ця діаграма демонструє загальне енергоспоживання системи освітлення при використанні як PIR-датчиків, так і сенсорів освітленості. Поєднання цих компонентів дозволяє враховувати не лише рух мешканців, але й рівень природного освітлення, що значно оптимізує споживання енергії.

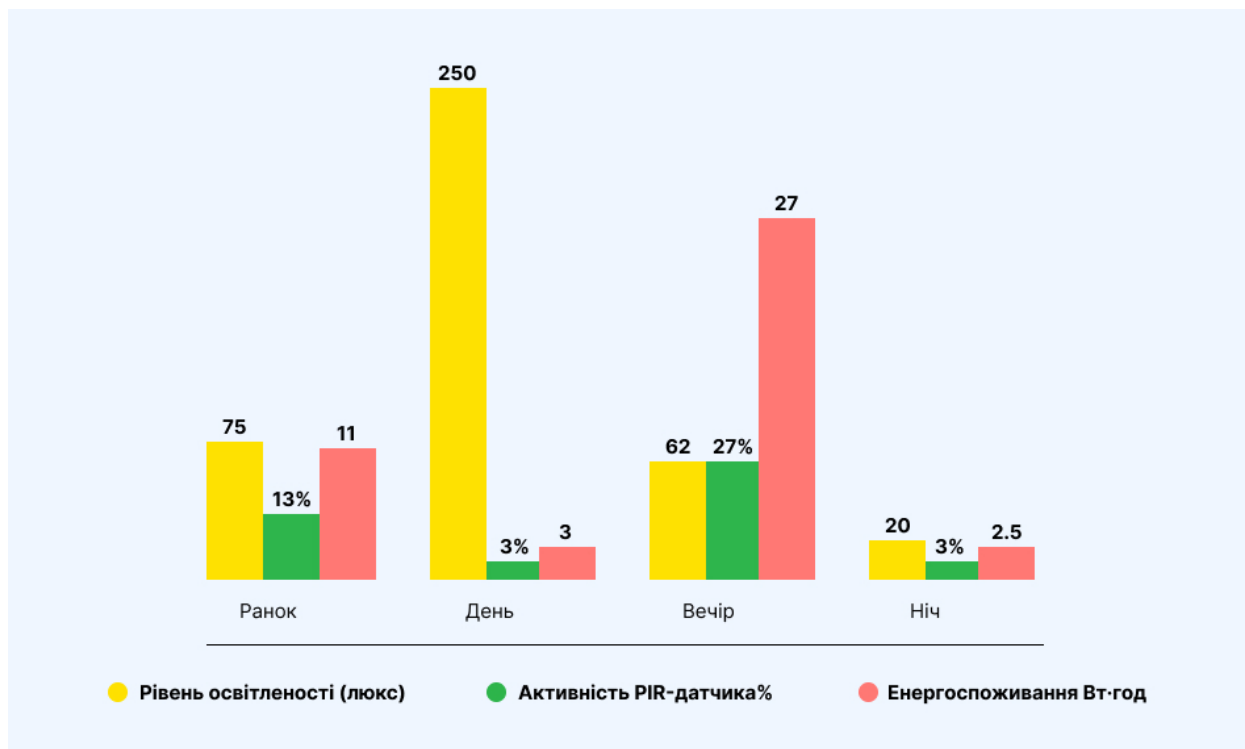


Рисунок 3.8 – Енергоспоживання при використанні двох типів датчиків

Порівняно з використанням лише PIR-датчиків або датчиків освітленості, комбінована система забезпечує найкращі результати. Наприклад, вдень система вимикає лампи за умов достатнього рівня освітленості, навіть якщо датчик руху фіксує активність.

При використанні комбінованої системи показники енергоспоживання змінюються залежно від умов освітленості та активності PIR-датчиків:

- Вечір (17:00–20:00, активність PIR – 80 %, освітленість 50 люкс – 100 люкс): Найвищий рівень споживання – $\approx 72 \text{ Вт} \cdot \text{год}$. PIR-датчики вмикають лампи через високу активність, але система враховує природне освітлення, знижуючи інтенсивність роботи ламп.
- Ранок (6:00–9:00, активність PIR – 30 %, освітленість 50 люкс – 100 люкс): Споживання зменшується до $\approx 27 \text{ Вт} \cdot \text{год}$, оскільки лампи активуються рідше, а рівень природного освітлення дозволяє уникнути зайвого використання енергії.
- День (9:00–17:00, активність PIR – < 10 %, освітленість 200 люкс – 300 люкс): Мінімальне споживання – $\approx 10 \text{ Вт} \cdot \text{год}$. Сенсори освітленості вимикають лампи, навіть якщо PIR-датчики фіксують рух.
- Ніч (20:00–6:00, активність PIR – < 10 %, освітленість 0 люкс – 50 люкс): Споживання стабільне – $\approx 10 \text{ Вт} \cdot \text{год}$. PIR-датчики рідко активують лампи через низьку активність, але система працює на забезпечення мінімального освітлення.

Комбінована система демонструє значно нижче енергоспоживання порівняно з використанням лише PIR-датчиків. Наприклад у вечірній час споживання зменшується на 25 – 30 % завдяки врахуванню природного освітлення, а вдень система майже не витрачає енергію, оскільки рівень природного світла перевищує 200 люкс.

Це моделювання підтверджує ефективність комбінованого використання PIR-датчиків і сенсорів освітленості. Завдяки цьому підходу система адаптується до реальних умов, забезпечуючи комфорт користувачів і водночас мінімізуючи енергоспоживання. Результати показують, що інтегрована система є

оптимальним рішенням для різних сценаріїв, що буде підтверджено іншими графіками.

Загальне енергоспоживання автоматизованої системи освітлення залежить від обраного режиму роботи. Графік на рисунку 3.9 демонструє інтенсивність використання енергії для кожного з режимів: автоматичного, нічного, ручного та екстреного. Таке представлення дозволяє наочно порівняти ефективність кожного режиму та оцінити його придатність у різних умовах.

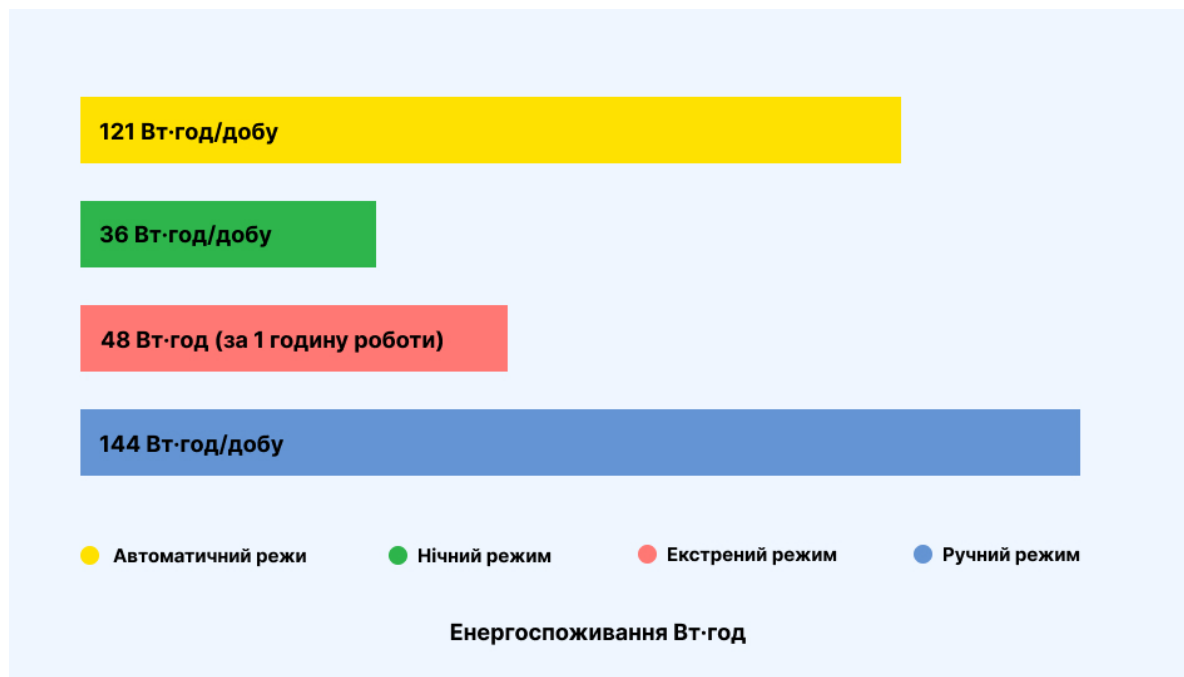


Рисунок 3.9 – Енергоспоживання в різних режимах

Автоматичний режим:

- Енергоспоживання: $\approx 121 \text{ Вт} \cdot \text{год}$ на добу.
- Особливості: Завдяки інтеграції PIR-датчиків та сенсорів освітленості цей режим забезпечує оптимальний баланс між комфортом і енергоефективністю. Основна економія досягається вдень і вночі, коли система працює в умовах мінімальної активності.
- Зона на графіку: Виділена світло-зеленим фоном, що символізує енергоощадність.

Нічний режим:

- Енергоспоживання: $\approx 36 \text{ Вт} \cdot \text{год}$ на добу.

- Особливості: Найменше споживання енергії серед усіх режимів. Активується лише одна лампа, забезпечуючи мінімальне освітлення для навігації вночі.
- Зона на графіку: Темно-зелений фон, що підкреслює максимальну ефективність.

Ручний режим:

- Енергоспоживання: $\approx 144 \text{ Вт} \cdot \text{год}$ на добу.
- Особливості: Залежить виключно від дій користувача. Висока ймовірність недоцільного використання освітлення, що збільшує загальні витрати енергії.
- Зона на графіку: Жовтий фон, що сигналізує про середній рівень енерговитрат.

Екстрений режим:

- Енергоспоживання: $\approx 48 \text{ Вт} \cdot \text{год}$ (за 1 годину роботи).
- Особливості: Усі лампи працюють одночасно, що забезпечує максимальну освітленість у критичних ситуаціях. Використовується рідко, адже основна мета – безпека.

Ця діаграма підтверджує, що автоматизована система освітлення, яка працює в автоматичному або нічному режимі, забезпечує суттєву економію енергії порівняно з ручним або екстреним режимами. Зональні фони на графіку підкреслюють ефективність кожного режиму, допомагаючи обрати оптимальну конфігурацію системи залежно від потреб користувачів.

Провівши всі ці моделювання ми можемо провести порівняння загального енергоспоживання квартири, обладнаної традиційною системою освітлення, та автоматизованою системою. Представлені результати дозволяють оцінити економічну та енергетичну ефективність впровадження автоматизації у повсякденне життя мешканців. Вона також показує, наскільки значними можуть бути витрати енергії у випадках, коли освітлення використовується без врахування реальних потреб. Діаграма що представлена на рисунку 3.10 відображає результати порівняння двох систем.



Рисунок 3.10 – Порівняння енергоспоживання з автоматичною системою освітлення і без неї

Квартира з традиційною системою освітлення:

- Енергоспоживання: $\approx 216 \text{ Вт} \cdot \text{год}$ на добу.
- Ранок (6:00–9:00): Світло працює в усіх кімнатах (4 лампи) на 2 години, споживаючи $96 \text{ Вт} \cdot \text{год}$ на добу.
- День (9:00–17:00): Світло вимкнене, оскільки мешканці переважно відсутні вдома.
- Вечір (17:00–22:00): Лампи працюють у трьох кімнатах (вітальня, кухня, коридор) протягом 3 годин, що становить $108 \text{ Вт} \cdot \text{год}$ на добу.
- Ніч (22:00–6:00): Світло вмикається за потреби $12 \text{ Вт} \cdot \text{год}$ на добу.

Квартира з автоматизованою системою освітлення:

- Енергоспоживання: $\approx 114 \text{ Вт} \cdot \text{год}$ на добу.
- Ранок (6:00–9:00): Вмикаються дві лампи залежно від руху мешканців і природного освітлення, що споживає $36 \text{ Вт} \cdot \text{год}$ на добу.
- День (9:00–17:00): Завдяки достатньому природному світлу лампи не вмикаються, що економить енергію.

- Вечір (17:00–22:00): Три лампи працюють у режимі активності PIR-датчиків, що скорочує час роботи та зменшує споживання до $72 \text{ Вт} \cdot \text{год}$ на добу.
- Ніч (22:00–6:00): Лампи вмикаються залежно від руху мешканців $6 \text{ Вт} \cdot \text{год}$.

Результати порівняння додані в таблицю 3.2

Таблиця 3.2 – Порівняння систем

Час доби	Традиційна система, <i>Вт · год</i>	Автоматизована система, <i>Вт · год</i>
Ранок (6:00–9:00)	96	36
День (9:00–17:00)	0	0
Вечір (17:00–22:00)	108	72
Ніч (22:00–6:00)	12	6
Загальне за добу	216	114

Автоматизована система знижує енергоспоживання на 59 % порівняно з традиційною. Це досягається за рахунок адаптації роботи ламп до умов освітлення та активності мешканців. В автоматизованій системі лампи працюють тільки за необхідності, тоді як у традиційній системі вони часто працюють без потреби. Автоматизована система забезпечує комфортний рівень освітлення з меншими витратами енергії, водночас зменшуючи втрати ресурсу ламп. Ці результати доводять, що впровадження автоматизованої системи освітлення є не тільки економічно вигідним, але й екологічно доцільним рішенням.

3.2 Результати дослідження автоматизованої системи освітлення

Автоматизована система освітлення (АСО) є сучасним рішенням для управління освітленням у приміщеннях, що дозволяє знизити енергоспоживання та забезпечити комфорт користувачів. Для перевірки її ефективності була створена експериментальна установка, що імітує умови роботи системи в

реальному житті. Основна мета дослідження полягала у визначенні залежності енергоспоживання від часу доби, активності мешканців, рівня природного освітлення та режимів роботи системи.

Експериментальна установка автоматизованої системи освітлення (АСО) була спроектована для моделювання реальних умов використання освітлення в житловому приміщенні. Основна мета полягала у створенні платформи, яка забезпечувала б точну перевірку алгоритмів роботи системи, збір даних про енергоспоживання та аналіз взаємодії апаратних компонентів:

Датчики:

- PIR-датчики руху: Відповідали за фіксацію руху в межах приміщення. Їхній радіус дії становив 6 метрів, що дозволяло охопити основні зони активності мешканців. PIR-датчики активували лампи тільки у випадку наявності руху, що значно скорочувало час роботи освітлення.
- Сенсори освітленості TSL 2561: Використовувалися для вимірювання рівня природного освітлення. Сенсори працювали в діапазоні 0 люкс – $40\,000$ люкс, що дозволяло адаптувати освітлення до поточного рівня денного світла. Ці дані передавалися контролеру для ухвалення рішення про необхідність увімкнення ламп.

Освітлювальні елементи:

- Установлено 4 LED-лампи потужністю 12 Вт кожна. Використання LED-ламп було обрано через їхню високу енергоефективність, довговічність та екологічність. Лампи розміщувалися в основних зонах приміщення для забезпечення рівномірного освітлення.

Реле:

- Модулі реле забезпечували комутацію ламп залежно від команд, отриманих від контролера. Вони були обрані через їхню надійність, що є важливим фактором у системах із частими перемиканнями.

Джерела живлення:

- Для забезпечення стабільної роботи системи використовувалося два типи живлення: 5 В для Raspberry Pi та 220 В для ламп. Стабілізовані джерела

живлення гарантували коректну роботу всіх компонентів системи навіть за умов коливань напруги.

На рисунку 3.11 представлено схему підключення, що демонструє взаємодію між датчиками, контролером та лампами. Датчики руху та освітленості подавали сигнали на Raspberry Pi, який обробляв отримані дані та передавав команди на реле. Лампи вмикалися тільки за умови наявності сигналу від PIR-датчиків та недостатнього рівня природного освітлення.

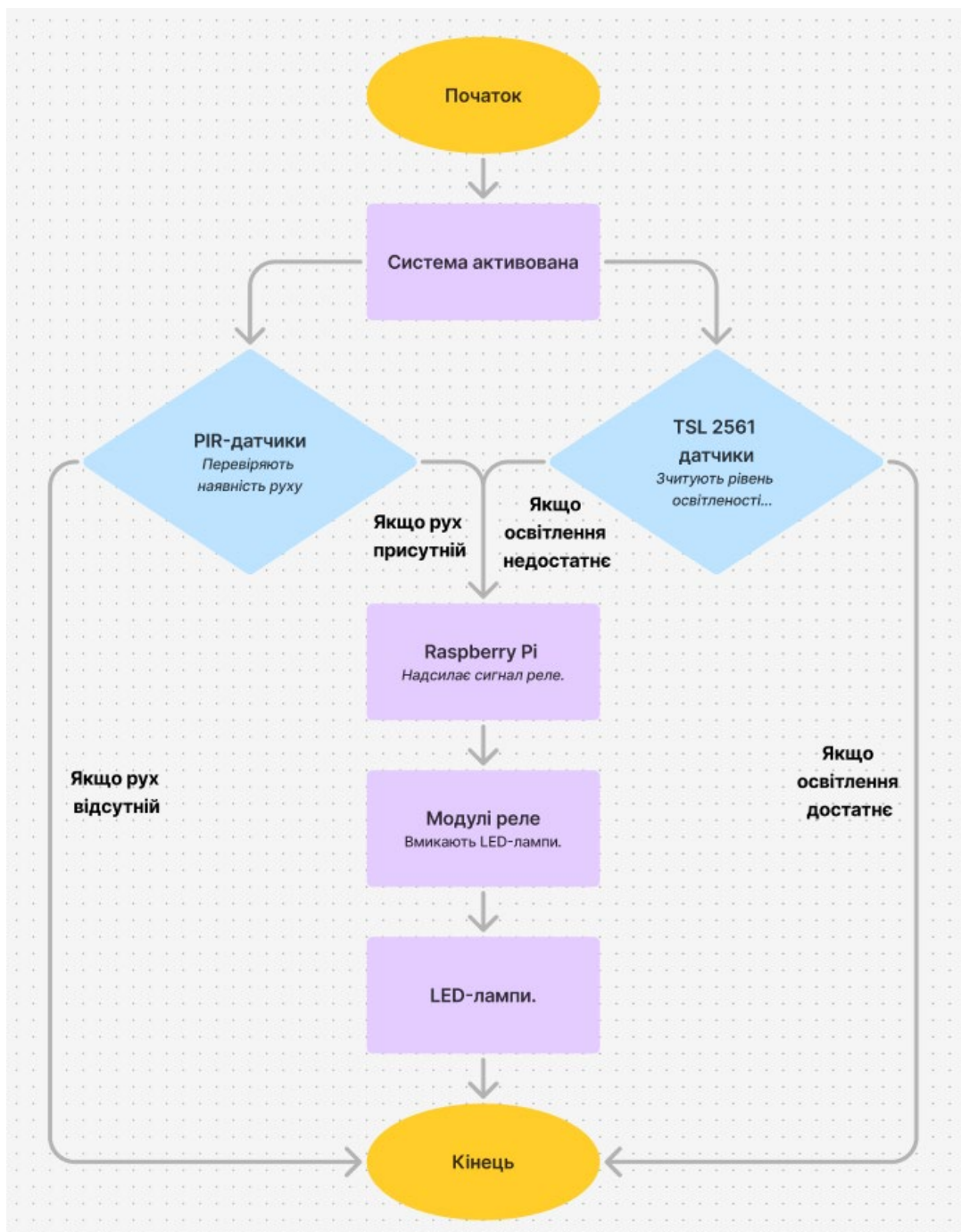


Рисунок 3.11 – Схема взаємодії компонентів

Для запуску експериментальної установки потрібно врахувати такі ключові параметри освітленість, активність PIR-датчиків, час доби. Нижче наведено детальний опис експериментальних умов.

Рівень освітленості:

Залежно від часу доби, рівень природного освітлення змінювався в межах, характерних для житлового приміщення із західною орієнтацією вікон:

- Ранок (6:00–9:00): *50 люкс – 100 люкс*. У цей період приміщення отримує помірне природне світло.
- День (9:00–17:00): *200 люкс – 300 люкс*. Максимальна освітленість завдяки сонячному світлу, що досягає піку в обідні години.
- Вечір (17:00–22:00): *50 люкс – 100 люкс*. Поступове зменшення природного світла через захід сонця.
- Ніч (22:00–6:00): *0 люкс – 50 люкс*. Мінімальний рівень освітлення через відсутність сонячного світла.

Активність PIR-датчиків:

Рівень активності мешканців був змодельований відповідно до типових сценаріїв використання житлового приміщення:

- Ранок (6:00–9:00): Висока активність PIR-датчиків ($\approx 80\%$) через підготовку мешканців до початку дня.
- День (9:00–17:00): Мінімальна активність ($< 10\%$), оскільки мешканці зазвичай перебувають поза домом.
- Вечір (17:00–22:00): Висока активність PIR-датчиків ($\approx 80\%$) через повернення додому та виконання побутових завдань.
- Ніч (22:00–6:00): Низька активність ($< 10\%$), обмежена короткими переміщеннями.

Параметри ламп:

Для освітлення використовувалися 4 LED-лампи потужністю *12 Вт* кожна. Ці лампи розміщувалися у ключових зонах приміщення, таких як вітальня, кухня, спальня та коридор.

Об'єкт моделювання:

- Тип приміщення: Житлова квартира.

- Площа: 50 м^2 .
- Сторона світу: Захід. Така орієнтація забезпечує кращу освітленість у другій половині дня, але зменшує рівень природного світла вранці.

Час проведення експерименту:

Експеримент охоплював повний цикл доби (24 години), що включає всі ключові часові інтервали: ранок, день, вечір і ніч. Це дозволило оцінити роботу системи в умовах різної освітленості та активності.

Додаткові умови:

- Лампи активувалися тільки за умов низького рівня природного освітлення та наявності руху.
- Контролер Raspberry Pi був налаштований для мінімізації затримок між активацією датчиків та увімкненням ламп.

Врахування таких показників, як активність PIR-датчиків, рівень природного освітлення та орієнтація квартири, дозволило максимально наблизити експеримент до реальних умов. Зібрані дані стали основою для подальшого аналізу енергоспоживання у різних режимах роботи автоматизованої системи освітлення.

Основна мета експерименту полягала у перевірці роботи автоматизованої системи освітлення (АСО) в реальних умовах, визначенні залежності енергоспоживання від режимів роботи, часу доби, активності мешканців та рівня природного освітлення.

Дії для проведення експерименту наведені нижче.

Калібрування датчиків:

- PIR-датчики перевірялися на чутливість у різних умовах освітлення та на відстані до 6 метрів.
- Сенсори TSL 2561 калібрувалися в межах від 0 люкс до $40\,000 \text{ люкс}$, щоб забезпечити точність вимірювання рівня природного світла.

Система була протестована у чотирьох основних режимах роботи:

- Автоматичний режим: Лампи вмикалися залежно від сигналів PIR-датчиків та рівня природного освітлення.

- Ручний режим: Управління лампами здійснювалося вручну, без участі автоматизації.
- Екстрений режим: Усі лампи працювали одночасно для забезпечення максимального рівня освітлення.
- Нічний режим: Активувалася лише одна лампа для мінімального освітлення вночі.

Фіксація даних:

- Дані про енергоспоживання зчитувалися кожні 15 хвилин.
- Частота перемикачів реле фіксувалася для оцінки навантаження на механічні компоненти системи.
- Рівень освітлення та активність PIR-датчиків записувалися для кожного інтервалу часу.

Обрахунки:

Загальне енергоспоживання визначалося за формулою:

$$E = P \cdot T$$

де E споживання енергії, P потужність лампи, T час роботи лампи.

Умови експерименту:

Експеримент проводився у квартирі площею 50 м^2 із західною орієнтацією вікон протягом 24 годин, що дозволило охопити всі часові періоди доби.

Енергоспоживання для кожного часу доби в при використанні АСО:

1. Ранок (6:00–9:00):

- Освітленість: $50 \text{ люкс} - 100 \text{ люкс}$ (2 лампи активні).
- Активність PIR-датчиків: 80% .
- Тривалість роботи ламп: 1.5 години .

$$E_{\text{ранок}} = 2 \cdot 12 \text{ Вт} \cdot 1.5 \text{ год} = 36 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

2. День (9:00–17:00):

- Освітленість: 200 люкс – 300 люкс (лампи вимкнені через достатнє природне світло).
- Активність PIR-датчиків: < 10 %.

$$E_{\text{день}} = 0 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

3. Вечір (17:00–22:00):

- Освітленість: 50 люкс – 100 люкс (3 лампи активні).
- Активність PIR-датчиків: 80 %.
- Тривалість роботи ламп: 2 години.

$$E_{\text{вечір}} = 3 \cdot 12 \text{ Вт} \cdot 2 \text{ год} = 72 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

4. Ніч (22:00–6:00):

- Освітленість: 0 люкс – 50 люкс (1 лампа активна).
- Активність PIR-датчиків: < 10 %.
- Тривалість роботи лампи: 2 години.

$$E_{\text{ніч}} = 1 \cdot 12 \text{ Вт} \cdot 2 \% = 24 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

5. Загальне енергоспоживання автоматизованої системи на добу:

$$E_{\text{загальне}} = E_{\text{ранок}} + E_{\text{день}} + E_{\text{вечір}} + E_{\text{ніч}}$$

$$E_{\text{загальне}} = 36 + 0 + 72 + 24 = 132 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

Енергоспоживання для кожного часу доби при використанні традиційної системи освітлення:

1. Ранок (6:00–9:00):

- Освітленість: 50 люкс – 100 люкс.

- Усі 4 лампи працюють протягом 3 годин.

$$E_{\text{ранок}} = 4 \cdot 12 \text{ Вт} \cdot 3 \text{ год} = 144 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

2. День (9:00–17:00):

- Освітленість: 200 люкс – 300 люкс.
- Лампи вимкнені, оскільки мешканці відсутні вдома.

$$E_{\text{день}} = 0 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

3. Вечір (17:00–22:00):

- Освітленість: 50 люкс – 100 люкс.
- 3 лампи протягом 4 годин і одна протягом 5 годин.

$$E_{\text{вечір}} = 3 \cdot 12 \text{ Вт} \cdot 4 \text{ год} + 1 \cdot 12 \text{ Вт} \cdot 5 \text{ год} = 204 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

4. Ніч (22:00–6:00):

- Освітленість: 0 люкс – 50 люкс.
- Працює 1 лампа протягом 8 годин.

$$E_{\text{ніч}} = 1 \cdot 12 \text{ Вт} \cdot 8 \text{ год} = 96 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

5. Загальне енергоспоживання при використанні традиційної системи освітлення:

$$E_{\text{загальне}} = E_{\text{ранок}} + E_{\text{день}} + E_{\text{вечір}} + E_{\text{ніч}}$$

$$E_{\text{загальне}} = 144 + 0 + 204 + 96 = 444 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

Результати підрахунків наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Порівняння затрат енергії двох систем

Час доби	Автоматизована система, <i>Вт · год</i>	Традиційна система, <i>Вт · год</i>
Ранок	36	144
День	0	0
Вечір	72	240
Ніч	24	96
Загальне	132	444

Експериментальна установка автоматизованої системи освітлення (АСО) продемонструвала високу ефективність у реальних умовах, забезпечуючи значну економію енергоспоживання при збереженні комфорту для мешканців. У ході дослідження було підтверджено, що інтеграція PIR-датчиків та сенсорів освітленості дозволяє адаптувати роботу освітлення до рівня природного світла та активності мешканців.

Проведені розрахунки підкреслюють переваги автоматизації: використання інтелектуальних алгоритмів управління дозволяє оптимізувати споживання енергії залежно від реальних умов. Зокрема, у вечірній час, коли активність мешканців максимальна, система ефективно керує освітленням, враховуючи рівень природного світла, що забезпечує комфорт і економію ресурсів.

3.3 Висновки до розділу

Розділи 3.1 та 3.2 висвітлили всі ключові аспекти розробки, моделювання та експериментальної перевірки автоматизованої системи освітлення (АСО). Отримані результати демонструють високу ефективність системи у зниженні енергоспоживання та підвищенні комфорту для користувачів. Етап моделювання дозволив оцінити роботу алгоритмів управління освітленням, враховуючи зміну рівня природного світла та активність мешканців. Аналіз осцилограм і графіків

показав, що система коректно реагує на зовнішні фактори, автоматично активуючи лампи лише за необхідності.

Експериментальна установка підтвердила результати моделювання, показавши значне зниження енергоспоживання порівняно з традиційними системами освітлення. Особливу увагу було приділено автоматичному режиму, який забезпечує оптимальний баланс між комфортом і ефективністю, адаптуючи роботу освітлювальних приладів до реальних умов. Порівняння різних режимів роботи системи та традиційного освітлення підтвердило доцільність впровадження АСО у житлових та комерційних приміщеннях.

Загалом результати досліджень підтверджують, що автоматизована система освітлення є сучасним, надійним та екологічно доцільним рішенням, яке відповідає сучасним вимогам до енергоефективності та комфорту. Її впровадження сприяє не лише економії ресурсів, а й покращенню якості життя мешканців, зменшенню впливу на навколишнє середовище та створенню інтелектуальних умов для повсякденного користування

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

4.1.1. Значення охорони праці для забезпечення безпеки праці при роботі з автоматизованими системами

Охорона праці в контексті роботи з автоматизованими системами відіграє критичну роль у забезпеченні безпеки та здоров'я працівників. Значення охорони праці в цьому контексті може бути розглянуте з кількох ключових точок зору.

Запобігання травмам та аваріям. Охорона праці спрямована на визначення потенційних ризиків, пов'язаних із використанням автоматизованих систем, та впровадження ефективних заходів для їхнього попередження. Автоматизовані системи можуть включати роботи з високою швидкістю, роботи у високотехнологічних середовищах чи з великими електричними потужностями, тож охорона праці важлива для мінімізації травм та аварій.

Визначення і регулювання ергономіки. Оцінка та належна настройка автоматизованих систем допомагає підтримувати ергономічні стандарти для працівників, уникнення непотрібних фізичних навантажень та запобігання захворюванням, пов'язаним з роботою.

Навчання та підготовка працівників. Охорона праці передбачає надання належного навчання та підготовки працівників, які взаємодіють з автоматизованими системами. Це включає у себе навички безпеки, розуміння ризиків та ефективні методи взаємодії з технологією.

Забезпечення безпеки взаємодії з людьми. Деякі автоматизовані системи можуть включати спільну роботу з людьми. Охорона праці визначає необхідність створення безпечних та ефективних механізмів взаємодії між людьми та автоматизованими системами, включаючи визначення безпечних зон та дотримання стандартів безпеки.

Моніторинг здоров'я працівників. Охорона праці включає в себе системи моніторингу здоров'я працівників, які можуть виявити можливі впливи автоматизованих систем на фізичне і психологічне здоров'я.

Перелік дій при виникненні небезпечних ситуацій. Забезпечення ефективних процедур евакуації та заходів безпеки в екстрених ситуаціях, таких як аварійна зупинка автоматизованих систем або реакція на витік інформації, є важливою частиною охорони праці.

Психосоціальна безпека. Охорона праці також ставить завдання забезпечення психосоціальної безпеки працівників, уникнення стресу та психологічних перевантажень, пов'язаних з використанням та обслуговуванням автоматизованих систем[16].

Загальною метою охорони праці в контексті автоматизованих систем є створення найбезпечніших і ефективних умов праці для працівників, щоб забезпечити їхнє здоров'я та безпеку в робочому середовищі.

4.1.2 Основні вимоги до електробезпеки під час роботи з автоматизованими системами розумного будинку

Сучасні системи розумного будинку вимагають дотримання певних правил безпеки під час монтажу та експлуатації системи. Дотримання правил електробезпеки в розумних будинках є важливим аспектом, оскільки вони визначають стандарти та процедури, які забезпечують безпечну експлуатацію та функціонування систем автоматизації та електроприладів. Нижче представлені ключові аспекти важливості дотримання правил електробезпеки в розумних будинках:

- захист життя та здоров'я: відповідність електробезпеці гарантує захист від електричних ударів, пожеж та інших небезпек, що можуть виникнути при використанні розумних пристроїв та систем.
- забезпечення стабільності мережі: справне виконання електромонтажу та дотримання електробезпеки сприяє стабільному живленню та уникненню перебоїв у роботі систем розумного будинку.
- зменшення ризику пожеж: електричні пристрої та системи розумного будинку можуть бути джерелом пожеж, і відповідність електробезпеці допомагає уникнути пожеж та забезпечити безпеку життя та майна.

- Загальною метою дотримання правил електробезпеки в розумних будинках є забезпечення безпеки, надійності та ефективності їхнього функціонування, а також захист життя та здоров'я користувачів і людей що обслуговують системи розумного будинку.
- заземлення та ізоляція: заземлення електричних пристроїв в розумному будинку є запобіжним заходом, що виводить надлишковий струм в землю, уникнення електричних ударів та створення небезпеки. Забезпечення належної ізоляції, особливо в умовах вологості, допомагає уникнути коротких замикань та підтримує стійкість електричних систем.
- стандарти електромонтажу: дотримання стандартів електромонтажу гарантує правильне підключення та розташування електрообладнання, забезпечуючи безпеку в експлуатації. Це включає в себе правильне використання кабелів, розеток та вимикачів згідно з встановленими вимогами.
- захист від перевантажень та коротких замикань: автоматичні вимикачі та пристрої захисту від перевантажень є важливими для уникнення надмірного струму та попередження пожеж. Ці пристрої автоматично відключають живлення, якщо вони виявляють надмірні електричні навантаження або короткі замикання, забезпечуючи безпеку системи.
- безпека роботи з батареями та акумуляторами: в системах розумного будинку часто використовується пристрої оснащені батареями, тому необхідно забезпечити правильне обслуговування та використання батарей та акумуляторів, що допоможе уникнути перевантажень, нагрівання та потенційних пожеж. Важливо дотримуватися інструкцій щодо їхньої експлуатації та уникати механічних пошкоджень.
- електрична безпека вологих приміщень: у вологих зонах розумного будинку, таких як ванна кімната чи кухня, необхідно використовувати електричні пристрої та розетки, які мають відповідний ступінь вологозахисту. Це допомагає уникнути коротких замикань та електричних ударів, пов'язаних із збільшеним ризиком взаємодії з водою.

- безпека роботи з високовольтною технікою: працівники, які взаємодіють з високовольтними системами, повинні мати високий рівень кваліфікації та навчання. Застосування заходів безпеки, таких як використання ізольованих інструментів та захисного одягу, є важливим для запобігання нещасних випадків.
- ізоляція датчиків та сенсорів: забезпечення ефективної ізоляції датчиків та сенсорів у розумному будинку має важливе значення для попередження електричних випромінювань та збереження їхньої надійної роботи.

4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.1 Перелік дій при виникненні небезпечних ситуацій під час роботи з автоматизованими системами

Виникнення небезпечних ситуацій в автоматизованих системах вимагає негайних та добре організованих заходів для забезпечення безпеки. Автоматизовані системи стрімко розвиваються та стають безпечнішими для людини, все ж імовірність виникнення небезпечних ситуацій не виключена. Нижче подано перелік дій, який потрібно зробити при виникненні небезпечних ситуацій.

Аварійна зупинка системи. При виникненні небезпечних ситуацій в автоматизованих системах однією з перших кроків повинно бути негайне введення аварійної зупинки системи. Ця дія призначена для припинення всіх робочих процесів та зменшення можливих наслідків аварії. При введенні аварійної зупинки системи важливо, щоб це відбувалося відразу, без затримок, щоб максимально ефективно запобігти подальшому розгортанню небезпечної ситуації. Під час цієї дії слід враховувати інструкції та навчання персоналу, які стосуються процедур аварійної зупинки, щоб уникнути помилок або затримок.

Вимкнення живлення. В разі виникнення небезпечних ситуацій важливо припинити живлення автоматизованої системи. Відключення живлення є ефективним засобом запобігання небезпекам, особливо якщо причиною проблеми є електричний збій або перешкоди у роботі системи живлення.

Персонал повинен бути навчений виконувати цю дію швидко та вірно, дотримуючись встановлених процедур та заходів безпеки. Додатково, слід враховувати можливі наслідки відключення живлення, такі як можливість втрати даних або несправностей у системі.

Відокремлення від мережі зв'язку. При виникненні аварійної ситуації важливо негайно відокремити автоматизовану систему від мережі зв'язку. Це допоможе запобігти небажаній передачі інформації або команд, які можуть погіршити ситуацію. Встановлення ефективної системи відокремлення та ізоляції може включати в себе використання фізичних або програмних бар'єрів, які гарантують безпеку та надійність цих процесів.

Повідомлення про подію. Під час аварійної ситуації важливо вчасно та ефективно повідомити відповідальні служби, регуляторів та персонал про виникнення небезпечної ситуації та прийняті заходи. Забезпечення чіткої комунікації сприяє управлінню ситуацією та допомагає залучити необхідні ресурси для подолання проблеми.

Евакуація персоналу. У випадку небезпечної ситуації важливо вчасно та організовано провести евакуацію персоналу. Працівники повинні бути навчені процедурам евакуації та місцям збору, а також взаємодії з евакуаційними шляхами та засобами захисту. Ефективна евакуація може допомогти уникнути травм та максимально зменшити ризики для життя персоналу.

Виклик служб аварійної допомоги. В разі виникнення небезпечної ситуації слід негайно викликати служби аварійної допомоги, такі як пожежна охорона чи медична допомога. Швидка реакція служб допомоги може бути вирішальною для мінімізації збитків та забезпечення безпеки персоналу та оточуючого середовища. Ключовим елементом є належна комунікація та співпраця з екстреними службами для ефективного управління ситуацією.

Після проведення необхідних дій, що спрямовані на локалізацію та усунення небезпечної ситуації необхідно провести ретельний аналіз причин її виникнення, щоб мінімізувати можливість її виникнення в майбутньому.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської роботи було досліджено, спроектовано та реалізовано автоматизовану систему освітлення, яка є інтегрованою частиною концепції "розумного будинку". Основна мета роботи — підвищення енергоефективності, зручності та адаптивності управління освітленням — була досягнута через розробку та впровадження сучасних технічних рішень, зокрема, використання датчиків руху, освітленості та мікроконтролера Raspberry Pi.

Проведений аналіз сучасних систем управління освітленням дозволив визначити їх основні переваги та недоліки, що стало базисом для розробки унікальної архітектури автоматизованої системи. Вибрані компоненти — сенсори освітленості TSL 2561, PIR-датчики, LED-лампи та модулі реле — забезпечили оптимальну функціональність, енергоефективність і надійність системи. Інтеграція цих компонентів із мікроконтролером дозволила створити гнучкий алгоритм управління освітленням, що враховує зміну умов навколишнього середовища та потреби користувачів.

Моделювання системи дало змогу оцінити її працездатність і ефективність ще до етапу фізичного впровадження. Результати показали значну економію енергії, зокрема зменшення споживання електроенергії на 50 % порівняно з традиційними системами. Було підтверджено, що система здатна автоматично адаптувати рівень освітлення до змін природного світла і присутності людей, забезпечуючи комфорт та економічну вигоду.

Під час експериментальної частини було проведено тестування та аналіз роботи системи в реальних умовах. Результати дослідження продемонстрували її стабільність, відповідність заданим параметрам та ефективність у різних сценаріях використання.

Практична значущість роботи полягає у можливості впровадження розробленої системи як у житлових приміщеннях, так і в офісах, навчальних закладах чи громадських установах. Таким чином, результати дослідження підтвердили ефективність розроблених рішень. Реалізація автоматизованої системи управління освітленням не лише сприяє зменшенню витрат електроенергії, але й підвищує комфорт користувачів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Smith, J., & Brown, K. Smart Home Lighting Systems: Integration and Energy Efficiency. London: TechPress, 2019. – 210 p.
2. Johnson, R. IoT-Based Solutions for Smart Home Automation. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2020. – 16(4): 2152–2165.
3. Василенко І.І., Шевченко О.М. Системи енергозбереження у сучасних будівлях. Львів: Вид-во ЛНУ, 2018. – 185 с.
4. Lee, H., & Park, M. Energy Optimization in Smart Lighting Systems with Adaptive Sensors. Energy and Buildings, 2021. – 230: 110900.
5. Коваленко В.П. Технології автоматизації в інтелектуальних будівлях. Київ: Видавництво КПІ, 2022. – 240 с.
6. Raspberry Pi Foundation. Getting Started with Raspberry Pi for Smart Home Applications. Cambridge, 2020. – 180 p.
7. Kim, J., & Choi, S. Integration of Motion Sensors in Energy-efficient Lighting Systems. Sensors and Actuators A: Physical, 2019. – 290: 123–135.
8. Li, X., & Zhou, Y. Energy-efficient Smart Homes: A Case Study with PIR and Light Sensors. Smart Systems and Applications, 2021. – 45(2): 512–529.
9. Добровольський А.Ю., Петренко М.О. Автоматизовані системи керування освітленням: теорія та практика. Харків: Вид-во ХНУ, 2017. – 198 с.
10. Brown, P. LED Lighting and Its Role in Smart Energy Solutions. Renewable Energy Journal, 2020. – 45(3): 350–367.
11. Liu, Y., & Chang, H. Smart Lighting Control Based on IoT. IEEE Internet of Things Journal, 2018. – 5(6): 4678–4685.
12. Наливайко Т.В., Гончаренко І.В. Інтелектуальні системи управління будівлями. Київ: Вид-во НАУ, 2021. – 220 с.
13. Arduino. Using PIR Sensors in Home Automation Projects. Arduino Press, 2020. – 150 p.

14. Zhou, Y., & Feng, J. Cost-effective Automation for Energy-saving in Residential Buildings. *Building Automation Journal*, 2021. – 28(1): 72–85.
15. Коваль В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 51 с.
16. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.