

ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ

Відділення "Інженерна інфраструктура та комп'ютерні науки"

Кафедра "Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка"

До захисту допущено
завідувач кафедру

Інна НЕЗДВЕЦЬКА

“ ” 2025 року

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту

освітньо-професійний ступінь: фаховий молодший бакалавр

спеціальність: 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

на тему: "Проект системи автоматизації енергоспоживання пристроїв, які
виконують роль освітлення в офісних приміщеннях"

Виконав: студент IV курсу, групи Е-42

спеціальності

141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

Назарій КАНАВСЬКИЙ

Керівник проєкту Богдан АНТИПЧУК

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

м. Житомир – 2025 року

ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедру
Інна НЕЗДВЕЦЬКА

“ ____ ” _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ

Канавському Назарію Олександровичу

- 1.Тема дипломного проєкту “Проект системи автоматизації енергоспоживання пристроїв, які виконують роль освітлення в офісних приміщеннях” та керівник дипломного проєкту Антипчук Богдан Олександрович, затверджені наказом навчального закладу від 03 грудня 2024 року, №495-н.
2. Строк подання студентом проєкту “__” червня 2025 року.
3. Вихідні дані до роботи: план офісного приміщення.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
 - Вступ;
 - Загальна характеристика автоматизованих систем керування освітленням;
 - Аналіз основних типів та видів джерел освітлення;
 - Система автоматизації енергоспоживання пристроїв, які виконують роль освітлення;
 - Економічна частина;
 - Охорона праці;
 - Висновки.
5. Перелік візуального та графічного матеріалу:
 - Схема електрична структурна. Системи автоматизації енергоспоживання пристроїв, які виконують роль освітлення в офісних приміщеннях;

- Схема електрична принципова. Підключення датчика освітленості LM393 до контролера Arduino Nano;
- Схема електрична принципова. Підключення датчика руху HC SR501 до контролера Arduino Nano;
- Схема електрична принципова. Підключення радіо модуля nRF24L01 до контролера Arduino Nano.

6. Консультанти розділів проєкту:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Вступ	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Розділ 1	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Розділ 2	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Розділ 3	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Розділ 4	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Розділ 5	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Висновки	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
ГЧ та технічна документація	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	

7. Дата видачі завдання “03” грудня 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент: _____ Назарій КАНАВСЬКИЙ

Керівник проєкту: _____ Богдан АНТИПЧУК

[illegible]

“ Проєкт системи автоматизації енергоспоживання пристроїв, які виконують роль освітлення в офісних приміщеннях ”

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт складається з 88 листів пояснювальної записки, яка включає п'ять розділів та графічну частину виконану на 4 листах формату А1 креслярського паперу.

У першому розділі цього дипломного проєкту проведено порівняльний аналіз сучасних технічних рішень, які можуть бути застосовані при розробці системи автоматизації енергоспоживання пристроїв, які виконують роль освітлення в офісних приміщеннях.

У другому розділі проєкту здійснено аналіз основних видів і типів джерел освітлення, а також обґрунтовано переваги застосування LED-ламп для реалізації розроблюваної системи автоматизації освітлення офісу у порівнянні з іншими можливими варіантами освітлення.

У третьому розділі дипломного проєкту проведено детальний розрахунок системи автоматизації енергоспоживання пристроїв, які виконують роль освітлення в заданому офісному приміщенні. Визначено оптимальну кількість LED-світильників, датчиків освітленості та руху, а також модулів радіозв'язку. Обґрунтовано вибір відповідних типів і моделей обладнання для реалізації системи. Крім того, розроблено алгоритм її функціонування та структурну схему.

У четвертому розділі здійснено оцінку економічної ефективності розробленої системи. В межах розрахунків визначено капітальні вкладення на впровадження системи, витрати на її експлуатацію та період окупності.

У п'ятому розділі представлено відомості про заходи безпеки, яких слід дотримуватися під час виконання електромонтажних робіт, а також ключові правила та процедури надання першої допомоги у випадку ураження електричним струмом.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ	10
1.1 Загальні принципи побудови автоматизованих систем керування освітленням	10
1.2 Технологія зондування зайнятості та освітлення	11
1.3 Прототипи плат для керування освітленням	14
2 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ТИПІВ ТА ВИДІВ ДЖЕРЕЛ ОСВІТЛЕННЯ	17
2.1 Типи освітлення	17
2.2 Порівняння освітлювальних установок з різними джерелами світла за показниками енергетичної ефективності	25
2.3 Порівняльний аналіз джерел світла, що використовуються в системах внутрішнього освітлення квартирної приміщення	28
3 СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПРИСТРОЇВ, ЯКІ ВИКОНУЮТЬ РОЛЬ ОСВІТЛЕННЯ	33
3.1 Вихідні дані	33
3.2 Розрахунок рівня освітленості кімнат офісного приміщення	34
3.3 Розрахунок оптимальної кількості світильників для кімнат офісного приміщення та вибір їх типу	49
3.4 Розрахунок кількості та вибір типу датчиків освітленості та руху	56
3.5 Вибір типу зв'язку між елементами системи автоматизації енергоспоживання освітлювальних пристроїв	62
3.6 Структурна схема та алгоритм роботи системи автоматизації енергоспоживання освітлювальних пристроїв кімнат офісного приміщення	64

					<i>ДП.141.042.019.ПЗ</i>		
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	<i>ЗМІСТ</i>		
Розробив	Канавський Н.О.						
Перевір	Антипчук Б.О.						
Н. Контр.	Антипчук Б.О.						
Затв.	Лавріщев О.О.				ЖАТФК, Гр. Е-42		
					Літ.	Арк.	Аркушів
					У	6	88

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	66
4.1 Розрахунок капітальних затрат на реалізацію розробленої системи	66
4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на реалізацію розробленої системи	69
4.3 Розрахунок терміну окупності розробленої системи	72
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	76
5.1 Заходи безпеки в електроустановках напругою до 1000 В	76
5.2 Перша допомога при ураженні електричним струмом	79
ВИСНОВКИ	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ	82
ДОДАТКИ	84

ВСТУП

Сучасний прогрес у науці та технологіях сприяв виникненню та активному впровадженню інтелектуальних систем для прийняття рішень, а також аналізу сигналів з численних датчиків різних типів у реальному часі, які швидко завоювали популярність серед побутових користувачів.

Концепції MicroGrid та SmartGrid зазнали значного розвитку, а сучасні будівлі, офіси та квартири все частіше обладнуються технологіями «розумних приладів» [1]. У зв'язку з цим проектування та розробка системи адаптивного освітлення стає надзвичайно актуальним завданням, оскільки з розвитком технологій виникає потреба в автоматизації освітлювальних систем для зменшення споживання електроенергії. За статистичними даними, близько 40% виробленої електроенергії використовується саме системами освітлення.

Однією з ключових переваг автоматизованих систем освітлення є їх можливість значно знижувати витрати енергії. Це досягається шляхом надання освітлювальним приладам певної автономії. Налагоджена система такого типу може виявитися набагато ефективнішою, ніж така, що базується лише на рішеннях, прийнятих людиною.

Щоб система освітлення могла автономно приймати рішення щодо світлового випромінювання та функціонування, їй необхідно мати доступ до інформаційного потоку, на основі якого ці рішення можуть бути ухвалені. Основна частина цих даних надходить від датчиків. Мережа розумних ламп, що управляється датчиками, здатна відстежувати зміни в навколишньому середовищі та інтерпретувати їх, щоб динамічно налаштовувати свою роботу для забезпечення оптимального комфорту та енергетичної ефективності, а також зменшувати витрати на електроенергію.

					ДП.141.042.019.ПЗ							
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ВСТУП				Літ.	Арк.	Аркушів	
Розробив		Канавський Н.О.								У	8	88
Перевір		Антипчук Б.О.							ЖАТФК, Гр. Е-42			
Н. Контр.		Антипчук Б.О.										
Затв.		Лавріщев О.О.										

Отже, метою цього дипломного проєкту є створення системи з комбінованою структурою керуючих модулів для реалізації адаптивного управління освітленням, заснованого на обробці та аналізі даних, отриманих від датчиків руху та освітленості. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

- дослідити та провести порівняльний аналіз різних типів і видів джерел світла, на основі якого буде здійснено їх розрахунок і обрано оптимальний варіант для реалізації розроблюваної системи;
- дослідити та провести порівняльний аналіз різних типів і видів датчиків, а також визначити їх необхідну кількість;
- обрати та обґрунтувати структурну організацію системи управління;
- розробити систему управління з комбінованим типом зв'язку між керуючими модулями.

Для вирішення завдань контролю та управління освітленням у цьому проєкті буде застосовано метод зондування зайнятості. Цей метод реалізується за допомогою датчиків присутності, які автоматично затемнюють або вимикають світло, якщо певний простір залишається вільним протягом заданого користувачем часу. Крім того, буде використано метод зондування природного освітлення, для чого застосовуватимуться датчики освітлення, які контролюють рівень природного освітлення в приміщенні та надають інформацію про його відповідність встановленим нормам.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ

1.1 Загальні принципи побудови автоматизованих систем керування освітленням

Управління освітленням в офісних приміщеннях є досить складним завданням автоматизації, особливо коли потрібно враховувати різноманітні фактори, такі як наявність жалюзі, різні типи освітлювальних приладів, архітектурні особливості будівель, географічне розташування, погодні умови, сезонні зміни тощо.

Системи адаптивного освітлення здатні знижувати енергоспоживання, зменшуючи використання штучного освітлення в денний час та в приміщеннях, де не зафіксовано присутності користувачів. Однією з важливих задач є інтеграція природного та штучного освітлення в автоматизовану систему. Природне освітлення є непостійним навіть у фіксованій точці, оскільки інтенсивність сонячного світла змінюється протягом доби, під впливом погодних умов, пори року тощо. Для успішної інтеграції необхідно здійснювати моніторинг інтенсивності денного світла, а потім визначати відповідний рівень штучного освітлення, враховуючи умови рівномірності освітлення та уникнення надмірної яскравості або відблисків.

Отже, система управління освітленням складається з двох взаємопов'язаних модулів: модуля контролю природного освітлення та модуля штучного освітлення. Мета цих модулів є різною. Їхнє поєднання дозволить створити комфортні умови для перебування та знизити витрати на електроенергію. Автоматизація та оптимізація системи управління освітленням реалізується таким чином, щоб забезпечити рівномірне та

					ДП.141.042.019.ПЗ			
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Канавський Н.О.			1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір		Антипчук Б.О.				У	10	88
Н. Контр.		Антипчук Б.О.						
Затв.		Лавріщев О.О.				ЖАТФК, Гр. Е-42		

стабільне освітлення в робочих зонах, при цьому споживання енергії залишається мінімальним.

Економія електричної енергії досягається завдяки автоматизації управління. Налаштована інтелектуальна система управління освітленням може виявитися більш ефективною, ніж та, що базується лише на рішеннях людини. Однак для того, щоб система освітлення могла автономно приймати рішення щодо інтенсивності світла та режимів роботи, їй необхідно мати відповідні дані, на основі яких ці рішення можуть бути ухвалені. Основними даними для системи прийняття рішень є сигнали від датчиків. Мережа розумних лампочок, що управляється датчиками, здатна відстежувати зміни в навколишньому середовищі та інтерпретувати їх, щоб динамічно регулювати режими роботи, забезпечуючи комфорт і енергоефективність, а також знижуючи витрати.

Розглянемо наявні технічні рішення та технології, які можуть бути застосовані для реалізації адаптивного керування освітленням у рамках виконання завдання цього дипломного проєкту.

1.2 Технологія зондування зайнятості та освітлення

Зондування зайнятості є одним із найпоширеніших способів управління освітленням, що використовується на сьогоднішній день в житлових, офісних та виробничих приміщеннях. Іншими словами, цей метод дозволяє автоматично затемнювати або вимикати світло, якщо протягом певного часу, визначеного користувачем, у конкретному приміщенні не виявлено руху або присутності людини. Як тільки рух буде зафіксовано, освітлення знову вмикається або регулюється відповідно до заданих сценаріїв.

Виявлення руху виконується за допомогою датчиків руху (див. рис. 1.1), які застосовують інфрачервону, ультразвукову або мікрохвильову технології для зондування. Кількість датчиків, необхідних для розміщення в

певному просторі, щоб система освітлення отримувала коректні дані, залежить від розміру та типу цього простору, а також від бажаного рівня освітленості. Простий сценарій передбачає, що всі лампочки працюють синхронно, забезпечуючи однакову інтенсивність світла по всій площі, поки мешканець перебуває в полі зору будь-якого з встановлених датчиків.

Більш складний сценарій, який забезпечує підвищену ефективність роботи, полягає в розподілі простору на кілька окремих зон освітлення, кожна з яких пов'язана з одним або кількома датчиками. При виявленні руху в одній із зон активується освітлення лише цієї конкретної області. Такий підхід є особливо корисним у великих відкритих просторах, на сходах або в довгих коридорах. Якщо не розділити простір на зони та не встановити відповідність між локальним освітленням і датчиками руху, то все приміщення залишалося б повністю освітленим постійно, що призводить до значних витрат електроенергії. Досвід впровадження та проведені розрахунки підтверджують ефективність зонування в офісних приміщеннях з точки зору енергоефективності.

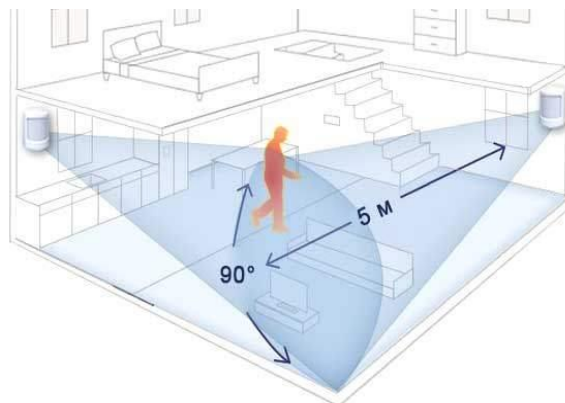


Рисунок 1.1 – Принцип роботи системи зондування зайнятості

Найбільш енергоефективним варіантом є інтеграція датчиків руху безпосередньо в освітлювальні прилади. Це забезпечує автономну реакцію кожного приладу на сигнали, що надходять від вбудованого датчика (див. рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Світильники із вмонтованими датчиками руху

Зондування зайнятості є перевіреним методом для зменшення споживання енергії та витрат на освітлення. Саме тому воно часто є обов'язковою вимогою в комерційних енергетичних кодексах будівель. Потенційна економія, яку може забезпечити така система, значною мірою залежить від типу приміщень, проте в більшості офісних приміщень можна досягти загального зниження світлового навантаження приблизно на 20-30%.

Концепція зондування зайнятості є практично ідентичною для дротових і бездротових систем управління освітленням. Бездротові рішення надають гнучкість у встановленні адаптивної сенсорної системи освітлення. Використання бездротових технологій значно зменшує час, необхідний для монтажу мережі датчиків, а також знижує трудомісткість процесу налаштування освітлювальної системи. Додатковою перевагою є відсутність потреби в фізичному прокладанні кабелів.

Бездротові технології надають значну гнучкість у обслуговуванні системи адаптивного освітлення. Для підвищення ефективності роботи та адаптації до потреб власників, особливостей використання мешканцями, а також змін у структурі та нормативних вимогах, у систему можуть і повинні вноситися корективи шляхом ручного налаштування. Користувачі можуть висловлювати побажання щодо рівня освітленості або часу між виявленням руху та активацією або затемненням світла. У розумній системі освітлення ці

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.019.ПЗ

Аркуш

13

параметри можна змінити всього за кілька секунд за допомогою програми на смартфоні.

Зондування зайнятості можна інтегрувати з іншими стратегіями управління освітленням для підвищення ефективності та зменшення витрат. Використання датчиків навколишнього освітлення (див. рис. 1.3) дозволяє ще більше вдосконалити управління освітленням, регулюючи потужність штучного освітлення відповідно до актуального рівня освітленості.



Рисунок 1.3 – Датчик навколишнього освітлення приміщення

1.3 Прототипи плат для керування освітленням

Сьогодні існує безліч варіантів для організації адаптивного освітлення з використанням готових контролерів, таких як Arduino, Raspberry Pi, NooLite та інших. Ці контролери дозволяють реалізувати як пультове, так і дистанційне управління освітленням за допомогою різних додаткових виконавчих модулів.

Arduino – це електронна платформа з відкритим кодом, що базується на простому у використанні апаратному та програмному забезпеченні. Плати Arduino (див. рис. 1.4) можуть обробляти сигнали від датчиків освітлення та кнопок. Відповіддю системи може бути активація двигуна, увімкнення світлодіодів або інших виконавчих пристроїв. Для цього необхідно організувати логіку роботи у вигляді набору інструкцій для мікроконтролера.

Ці команди та інструкції задаються за допомогою мови програмування Arduino (на основі підключення) та програмного забезпечення Arduino IDE, яке орієнтоване на обробку даних.

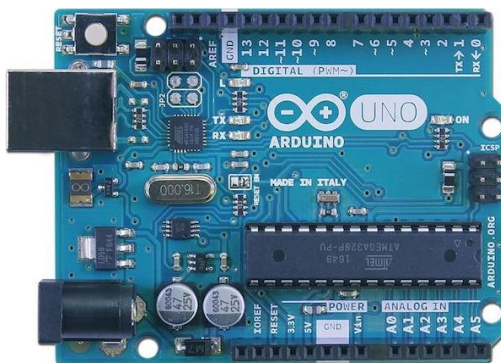


Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд плати Arduino

Завдяки зручному та зрозумілому інтерфейсу, Arduino стає все більш популярним не лише серед аматорів, а й у професійних сферах. Програмне забезпечення Arduino легко освоюється новачками, але водночас є досить гнучким і функціональним для досвідчених користувачів. Програма підтримує різні операційні системи, такі як Mac, Windows і Linux.

Raspberry Pi (див. рис. 1.5) – це компактний одноплатний комп'ютер, розміром зі звичайну кредитну картку, який оснащений інтерфейсами для підключення до дисплеїв (моніторів комп'ютера або телевізорів), а також стандартними клавіатурою і мишкою. Цей багатофункціональний і досить потужний пристрій дозволяє виконувати різноманітні обчислення. Програмування на Raspberry Pi здійснюється за допомогою мов, таких як Scratch і Python. Його функціональність порівнянна з можливостями звичайного персонального комп'ютера, включаючи перегляд, редагування та відображення електронних документів, доступ до Інтернет-ресурсів, відтворення відео високої чіткості тощо.

Raspberry Pi активно використовується в проектах автоматизації різного призначення, від музичних машин до метеостанцій з інфрачервоними камерами.

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.019.ПЗ

Аркуш

15

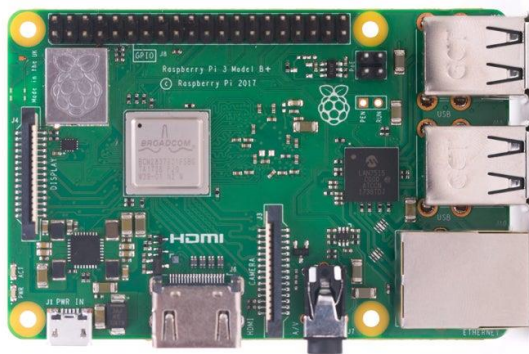


Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд плати Raspberry Pi

Система радіокерування NooLite (див. рис. 1.6) є технологією "розумного будинку" за прийнятною ціною. Вона включає в себе пульти радіозв'язку NooLite та радіо перемикачі NooLite (блоки живлення).



Рисунок 1.6 – Система радіокерування NooLite

Використання цієї системи не вимагає прокладання електричних кабелів: панель керування NooLite можна розмістити на будь-якій поверхні, яка не заважає сигналу. Основною перевагою системи радіоконтролю NooLite є можливість керувати освітленням з будь-якої точки. Ми можете встановити стільки консолей NooLite, скільки потрібно, і в будь-якому місці. Система NooLite є відмінною альтернативою прохідним вимикачам. Пульти дистанційного керування (передавачі) також функціонують без проводів.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.019.ПЗ

Аркуш

2 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ТИПІВ ТА ВИДІВ ДЖЕРЕЛ ОСВІТЛЕННЯ

2.1 Типи освітлення

Розроблювана нами система призначена для автоматизації енергоспоживання пристроїв, які виконують роль освітлення в офісних приміщеннях. Тобто така система складається не лише з елементів автоматичного керування освітленням, а і з самих освітлювальних приладів безпосередньо. Тому, щоб спроектувати якісну систему автоматизації енергоспоживання освітлення в першу чергу нам необхідно визначитись з типом освітлення, яке ми будемо використовувати, так як від цього залежатиме кількість світильників якими керуватиме наша система, її енергоефективність – бо вона розробляється з метою раціонального використання електроенергії, що в свою чергу має в плинити на позитивні економічні показники при щомісячній оплаті за електроенергію, важливою характеристикою також є можливість регулювання потужності самих ламп.

На теперішній час є шість основних типів освітлення [14], такі як: природне денне світло;

- освітлення лампами розжарювання;
- флуоресцентне освітлення;
- вольфрамово-галогенне освітлення;
- світлодіодне освітлення;
- освітлення високої інтенсивності (HID).

Природне денне світло (див. рис. 2.1) слугує еталоном для оцінки всіх інших джерел світла. Його використання має свої переваги та недоліки. Хоча загальноприйнято вважати, що денне світло позитивно впливає на психологічний стан людини, рівень освітленості на відкритому повітрі може

					ДП.141.042.019.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	2 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ТИПІВ ТА ВИДІВ ДЖЕРЕЛ ОСВІТЛЕННЯ		
Розробив		Канавський Н.О.					
Перевір		Антипчук Б.О.					
Н. Контр.		Антипчук Б.О.					
Затв.		Лавріщев О.О.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
					У	17	88
					ЖАТФК, Гр. Е-42		

суттєво варіюватися – він може досягати 120 000 люкс у ясний полудень, коли сонячні промені сліплять, або ж опускатися нижче 5 люкс у похмурі дні. Люди з вадами зору та іншими особливостями сприйняття можуть стикатися з труднощами в адаптації до змінного рівня природного світла в дні, коли погода чергує сонячні та похмурі моменти.

Природне денне освітлення є однією з основних причин виникнення відблисків і тіней в інтер'єрах будівель. Усередині приміщень денне світло має бути розсіяним і рівномірним, щоб уникнути відблисків і тіней, які можуть створювати труднощі для людей із вадами зору. Ефективні способи контролю відблисків і тіней включають тонування віконного скла, застосування напівпрозорих настінних панелей, а також зовнішніх тентів і навісів. На вже наявні вікна та скління можна встановити спеціальні плівки,

Мансардні вікна та інші джерела природного світла потрібно розмішувати таким чином, щоб сонячні промені не потрапляли безпосередньо в приміщення. Якщо це не можливо, рекомендується використовувати тоноване скло або інші способи затінення.

Освітлення за допомогою ламп розжарювання (див. рис. 2.2) на сьогоднішній день вважається досить застарілою технологією. Лампи цього типу випромінюють як тепло, так і світло. За характеристиками освітлення вони є непоганою альтернативою природному світлу, оскільки їх кольоровий спектр ближчий до природного, ніж у інших джерел, які зменшують сонячне та видиме випромінювання.



Рисунок 2.1 – Природне денне світло

Особи з порушеннями зору стикаються з труднощами при переміщенні між зонами з різним рівнем освітлення. Тому важливо забезпечити адекватне освітлення, особливо біля входів до будівель та в місцях, де можуть бути перешкоди (наприклад, пороги, сходи тощо). Рівні освітленості як всередині, так і зовні повинні бути максимально схожими.

Використання вхідних навісів може суттєво зменшити відблиски від природних джерел світла, проте вони можуть також ускладнити сприйняття входу для людей зі слабким зором. Аналогічно, зовнішні сходи повинні завжди бути добре видимими і не затінюватися навісами чи іншими об'єктами.

Мансардні вікна та інші джерела природного світла потрібно розмішувати таким чином, щоб сонячні промені не потрапляли безпосередньо в приміщення. Якщо це не можливо, рекомендується використовувати тоноване скло або інші способи затінення.

Освітлення за допомогою ламп розжарювання (див. рис. 2.2) на сьогоднішній день вважається досить застарілою технологією. Лампи цього типу випромінюють як тепло, так і світло. За характеристиками освітлення вони є непоганою альтернативою природному світлу, оскільки їх кольоровий спектр ближчий до природного, ніж у інших джерел.

Існує безліч способів зменшити відблиски та надмірне сонячне освітлення в будівлях. Внутрішні віконні покриття, які забезпечують затінення на рівні 97-100% (рекомендується 99% для західних вікон), можуть бути автоматизовані для реагування на відблиски. Комп'ютеризовані системи управління дозволяють визначати рівень відблиску відповідно до потреб користувачів.

Природне освітлення можна покращити, застосовуючи світлі полицки, які представляють собою горизонтальні поверхні або ряд параболічних жалюзі, розташованих на висоті приблизно 2280 мм від підлоги. Вони відбивають непряме світло від стелі, проникаючи глибше в приміщення. Поєднання таких елементів з автоматизованим управлінням штучним

освітленням (наприклад, вимкнення світильників при достатньому рівні природного світла) ефективно забезпечує більше непрямого світла без відблисків, а також сприяє економії енергії.

Мансардні вікна та інші джерела природного світла потрібно розміщувати таким чином, щоб сонячні промені не потрапляли безпосередньо в приміщення. Якщо це не можливо, рекомендується використовувати тоноване скло або інші способи затінення.

Освітлення за допомогою ламп розжарювання (див. рис. 2.2) на сьогоднішній день вважається досить застарілою технологією. Лампи цього типу випромінюють як тепло, так і світло. За характеристиками освітлення вони є непоганою альтернативою природному світлу, оскільки їх кольоровий спектр ближчий до природного, ніж у інших джерел.



Рисунок 2.2 – Лампи розжарення

Лампи розжарювання не є енергоефективними, тому їх все частіше замінюють на інші типи освітлювальних пристроїв, такі як люмінесцентні лампи, світлодіодні індикатори та світлодіоди. Ці альтернативи забезпечують більше видимого світла при такій же кількості споживаної електричної енергії.

Флуоресцентне (люмінесцентне) освітлення (див. рис. 2.3) споживає менше електроенергії, має триваліший термін служби та випромінює менше тепла в порівнянні з лампами розжарювання.



Рисунок 2.3 – Лампа флуоресцентного освітлення

Лампи флуоресцентного освітлення виготовляються у вигляді трубок, які формують лінійне світло, що є традиційним рішенням для освітлення великих будівель та офісів. Також ці прилади можуть бути представлені у вигляді ламп, відомих як компактні люмінесцентні лампи (КЛЛ). КЛЛ забезпечують якісне загальне освітлення і користуються значною популярністю. Багато юридичних норм сприяють їх використанню як енергозберігаючого рішення через програми економічного та законодавчого стимулювання.

У флуоресцентних лампах світло розподіляється більш рівномірно, без точкових відблисків, які виникають від нитки розжарювання.

Основним недоліком флуоресцентного освітлення є незначне мерехтіння, яке воно викликає. Існує кілька способів зменшення цього ефекту, зокрема, використання спеціальних лінз або екранування джерела світла для досягнення рівномірного непрямого освітлення. Також застосовують дві трубки, що працюють у фазовій опорі, які значно зменшують мерехтіння при використанні як непрямого джерела світла або в комбінації з призматичними дифузійними кришками, ґратами, напівпрозорими відтінками або покривними панелями.

Флуоресцентне освітлення пропонує різноманітні відтінки в спектрі світла. Холодні «сині» тони, які були популярні раніше, не зовсім відповідали природному освітленню. Сучасні вдосконалені формули фосфору в лампах забезпечують більш теплі відтінки. Найкращі «м'які» або «теплі» білі флуоресцентні лампи, що є в наявності, за кольоровою температурою наближаються до стандартних параметрів освітлення.

Флуоресцентні освітлювальні прилади з функцією затемнення, що використовують електронні баласты з високою частотою, знизять як мерехтіння світла, так і енергоспоживання. Зменшене мерехтіння менше втомлює та відволікає людей похилого віку і осіб з вадами зору, особливо тих, хто залежить від периферійного зору.

Вольфрамowo-галогенне освітлення – базується на виді ламп розжарювання, в яких нитка розжарювання знаходиться в середовищі інертного газу з додаванням невеликої кількості галогену (див. рис. 2.4). Це підвищує ефективність лампи та продовжує її термін служби. Галогенне освітлення випромінює яскраве біле світло і забезпечує вищу питому освітленість (на 1 Вт потужності) у порівнянні зі звичайними лампами розжарювання, що робить його відмінним джерелом світла.



Рисунок 2.4 – Вольфрамowo-галогенна лампа

Оскільки галогенні ліхтарі мають високу яскравість, важливо враховувати їхнє розташування, щоб зменшити негативні ефекти відблисків і тіней. Крім того, галогенні лампи виділяють значну кількість тепла, що є важливим аспектом безпеки в будь-якому приміщенні. Не рекомендується встановлювати галогенні лампи в зонах, що знаходяться нижче рівня зору людини.

Світлодіодне освітлення є енергоефективним джерелом світла, яке відзначається простотою реалізації схем. Світлодіодні лампи (див. рис. 2.5) генерують світло, яке за своїми характеристиками нагадує денне, що робить їх практичними та максимально ефективними у використанні. Вони часто застосовуються як спрямоване джерело світла, дозволяючи фокусувати світло на об'єктах або елементах будівлі. Крім того, світлодіоди можна

комбінувати в масиви всередині лампочок, що забезпечує різноспрямоване освітлення, подібне до того, яке створюють лампи розжарювання.



Рисунок 2.5 – Світлодіодна лампа

Світлодіодні лампи не випромінюють ультрафіолетове (УФ) світло і практично не генерують тепло, що робить їх ідеальними для освітлення об'єктів чутливих до УФ-випромінювання.

Світлодіодні лампи, які раніше зазвичай використовувалися як індикаторні ліхтарі в електронних пристроях, тепер мають широке застосування. Вони використовуються в вивісках, вуличних ліхтарях та архітектурному освітленні. Крім того, світлодіодне освітлення активно застосовується як робоче або точкове освітлення в побуті.

Перевагами світлодіодних джерел освітлення є:

- миттєва комутація;
- можливість плавного регулювання (у випадку ліхтарів з великою кількістю світлодіодів);
- можливість забезпечення будь-якої кольорової температури та спектру освітлення;
- безшумна робота;
- низьковольтне джерело живлення (що підвищує безпеку).

Завдяки цим перевагам світлодіодні освітлювальні пристрої стають дедалі популярнішими та доступнішими.

HID-лампи (високої інтенсивності розряду) є газорозрядними джерелами освітлення, які характеризуються високою інтенсивністю. Це тип дугових ламп, що мають тривалий термін служби та забезпечують вищу питому освітленість (люменів на ват), ніж інші джерела світла. Вони представлені у вигляді ртутних, металогалогенідних та натрієвих ламп, як високого, так і низького тиску.

Лампи з паровим натрієм низького тиску є надзвичайно ефективними. Вони випромінюють глибоке жовто-оранжеве світло і мають низький показник кольоропередачі (близький до нуля). Об'єкти, освітлені цими лампами, виглядають однотонними, що особливо важливо для людей із порушеннями зору. Галогенідні та керамічні галогенідні лампи здатні генерувати нейтральне біле світло, що є корисним у випадках, де важливі параметри кольоропередачі (наприклад, у виробництві телевізорів і кінофільмів, під час спортивних ігор в приміщенні або вночі, а також для автомобільних фар та освітлення акваріумів).

Натрієві лампи високого тиску зазвичай випромінюють світло, спектр якого максимально наближений до білого, проте з помітним помаранчево-рожевим відтінком. Сучасні моделі обладнані вбудованими системами корекції кольору.

Лампи HID зазвичай застосовуються на великих площах, де необхідно забезпечити високий рівень освітлення, а також коли важливими є енергоефективність і інтенсивність світла. Це стосується таких місць, як спортзали, великі громадські простори, склади, кінотеатри, футбольні стадіони, зони для активного відпочинку, проїзні частини, парковки та пішохідні доріжки. Нещодавно лампи HID, зокрема галогенідні, почали використовуватися і в невеликих торгових та житлових приміщеннях. Вони також зробили можливим ефективне внутрішнє садівництво, особливо для рослин, які потребують великої кількості інтенсивного сонячного світла.

2.2 Порівняння освітлювальних установок з різними джерелами світла за показниками енергетичної ефективності

Надійність роботи систем внутрішнього освітлення безпосередньо впливає на безпеку та комфорт людей під час їхньої діяльності та відпочинку. Водночас як внутрішнє, так і зовнішнє освітлення є значними споживачами електроенергії. У багатьох будівлях різного призначення – промислових, житлових, адміністративних – освітлення займає значну частину від загального споживання електроенергії. Енергозбереження в освітлювальних системах має суттєвий вплив на витрати електроенергії, а питання якості електроенергії та раціональні методи її використання є надзвичайно важливими.

Під системою внутрішнього освітлення ми маємо на увазі комплекс освітлювальної мережі та освітлювальних установок.

Енергоефективне функціонування системи внутрішнього освітлення визначається як мінімальне споживання електроенергії при досягненні нормативного рівня освітленості.

У сучасних електричних джерелах світла електрична енергія перетворюється на світлове випромінювання трьома способами: шляхом нагрівання тіла електричним струмом, електричним розрядом у газах та парах металів, а також пропусканням електричного струму через напівпровідники.

Перші джерела світла називають тепловими, другі – розрядними, а треті – світлодіодними. Для оцінки цих джерел використовують такі показники: енергетичні, світлотехнічні, електричні та експлуатаційні.

До енергетичних показників належать:

- енергетичний ККД лампи:

$$\eta_{\text{ен.л.}} = \Phi_{\text{е.л.}} / P_{\text{л.}} , \quad (2.1)$$

де:

$\Phi_{\text{е.л.}}$ – повний потік випромінювання лампи, Вт;

$P_{\text{л}}$ – потужність лампи, Вт;

- ефективний ККД лампи:

$$\eta_{\text{еф.л.}} = \Phi_{\text{еф.л.}} / P_{\text{л}}, \quad (2.2)$$

де:

$\Phi_{\text{еф.л.}}$ – ефективний потік випромінювання лампи, Вт;

- ефективний ККД потоку випромінювання лампи:

$$\eta_{\text{еф.л.}} = \Phi_{\text{еф.л.}} / \Phi_{\text{е.л.}}; \quad (2.3)$$

- світловіддача лампи (лм/Вт):

$$H = \Phi / P_{\text{л}}, \quad (2.4)$$

де:

Φ – спектральний склад випромінювання лампи.

До світлотехнічних показників відносять:

- спектральний склад випромінювання лампи $\Phi(\lambda)$;
- світловий (ефективний) потік випромінювання лампи Φ , Лм;
- пульсація світлового потоку;
- зміна світлового потоку в часі при живленні лампи змінним струмом;
- колірна температура $T_{\text{кт}}$;
- температура чорного тіла, при якій його випромінювання має таку ж кольорову характеристику, як і випромінювання, що аналізується;
- передача кольору – це характеристика, що описує, як спектральний склад випромінювання джерела впливає на зорове сприйняття

кольорових об'єктів у порівнянні з їх сприйняттям при освітленні опорним джерелом.

Наступні величини характеризують електротехнічні показники джерел світла:

- номінальна (активна) потужність лампи $P_{\text{л}}$, Вт;
- номінальна напруга лампи $U_{\text{ном}}$, В;
- коефіцієнт потужності лампи $\cos \varphi$;
- реактивна потужність лампи $Q_{\text{л}}$, Вар;
- спосіб запалювання лампи.

Експлуатаційні показники джерел світла такі:

- корисний термін служби лампи
- середня тривалість роботи до моменту зміни одного з її параметрів до величини, що більша за граничні, встановлені стандартом;
- повний термін служби лампи;
- час роботи лампи до виходу її з ладу;
- залежність основних параметрів лампи від відхилень напруги;
- старіння лампи;
- погіршення світлотехнічних показників лампи в процесі її експлуатації;
- періодичність чищення ламп;
- періодичність заміни ламп.

Отже, при виборі джерела штучного освітлення для внутрішніх потреб важливо враховувати ряд параметрів, що впливають на ефективність їх використання. До таких показників належать світловий потік, світлова віддача, колірна температура та передача кольору. Під енергетичною ефективністю розуміємо сукупність рішень, які відображають співвідношення витрат (енергоресурсів) до отриманого корисного результату. Завдання енергоефективних рішень полягає в зменшенні споживання енергії при збереженні того ж рівня енергетичного забезпечення.

З точки зору енергоефективності, одним із найважливіших параметрів джерела світла є світлова віддача, яка визначається як відношення світлового потоку до електричної потужності джерела.

2.3 Порівняльний аналіз джерел світла, що використовуються в системах внутрішнього освітлення квартирної приміщення

Основними нормативними актами, які регламентують вимоги до систем штучного освітлення, є [ДБН В. 2.5–28–2018]. Згідно з цим документом, для штучного освітлення встановлюється абсолютне значення освітленості, яке залежить від розряду та підрозряду зорових робіт (яких налічується чотири: а, б, в, г), а також від контрасту об'єкта розрізнення з фоном і характеристик самого фону.

Відповідно до [ДБН В. 2.5–28–2018], для загального штучного освітлення приміщень рекомендується використовувати, в основному, розрядні джерела світла, надаючи перевагу тим, які мають найбільшу світлову віддачу та тривалість служби при однаковій потужності. Лампи розжарювання можуть бути використані для загального освітлення лише в тих випадках, коли використання розрядних ламп є неможливим або економічно недоцільним. Використання ксенонових ламп у приміщеннях заборонено. Для місцевого освітлення, окрім розрядних джерел, також рекомендується застосовувати лампи розжарювання, включаючи галогенні.

Основні вимоги стосовно сучасного освітлення саме такі:

- мають бути створені найкращі умови для зорової роботи;
- для зручності керування освітленням повинно здійснюватись безпосередньо із робочого місця;
- освітлення має бути енергоефективним;
- весь період експлуатації має сприяти енергозбереженню;
- вплив на навколишнє середовище повинен бути мінімальним.

Аналізуючи інформацію, викладену в підрозділі 2.1 цього дипломного проекту, можна відзначити, що в нашій розроблюваній системі призначеній для автоматизації енергоспоживання пристроїв, які виконують роль освітлення в офісних приміщеннях, в якості самих освітлювальних пристроїв ми можемо обрати велику кількість варіантів. Проте, серед усіх можливих рішень, найбільш оптимальними для нашої системи є використання світлодіодного (LED) освітлення, яке є найкращим варіантом з огляду на його переваги та незначні недоліки, а також освітлення на основі флуоресцентних (люмінесцентних) ламп і ламп розжарення. Технічні характеристики цих джерел світла наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики ламп

Технічні характеристики	Тип ламп		
	Лампа розжарення	Люмінесцентна лампа	Світлодіодна лампа
Строк служби, тис.год	1	12 – 15	50
Світлова віддача (ефективність), Лм/Вт	10 – 20	47-104	120 – 140
Виділення тепла при горінні	високе	високе	низьке
Можливість регулювання потужності, що споживається	-	+	+
Залежність від напруги живлення	висока	висока	низьке
Пульсація випромінювання	15 – 18	20	10
Індекс передачі кольору, Ra	> 95	> 90	60 – 95
Спеціальна утилізація	-	+	-
ККД світильника	0,1	0,5 – 0,8	0,95
Середня варт.	14	89	31

З метою підвищення енергоефективності системи внутрішнього освітлення шляхом впровадження автоматизованих систем управління, важливою характеристикою є можливість регулювання потужності ламп.

Тому обрані варіанти джерел світла, які ми будемо порівнювати та вибирати найкращий, повністю відповідають цим вимогам.

Отже, здійснимо порівняльний аналіз світлодіодних, флуоресцентних ламп та ламп розжарення, щоб визначити найкращий варіант для подальшого впровадження в нашу систему адаптивного освітлення квартири. У таблиці 2.2 представлено залежність світлової віддачі вибраних типів ламп від їх споживаної потужності.

Таблиця 2.2 – Залежність світлової віддачі ламп від потужності

Потужність, Вт	Лампи розжарення, Лм/Вт	Люмінесцентні лампи, Лм/Вт	Світлодіодні лампи Лм/Вт
5	10	60	105
10	13	77	120
15	15	92	129
25	17	105	141
50	20	124	156
80	23	137	167

Виходячи з даних таблиці 2.2 побудуємо порівняльний графік залежності для лампи розжарювання та світлодіодної лампи (див. рис. 2.6).

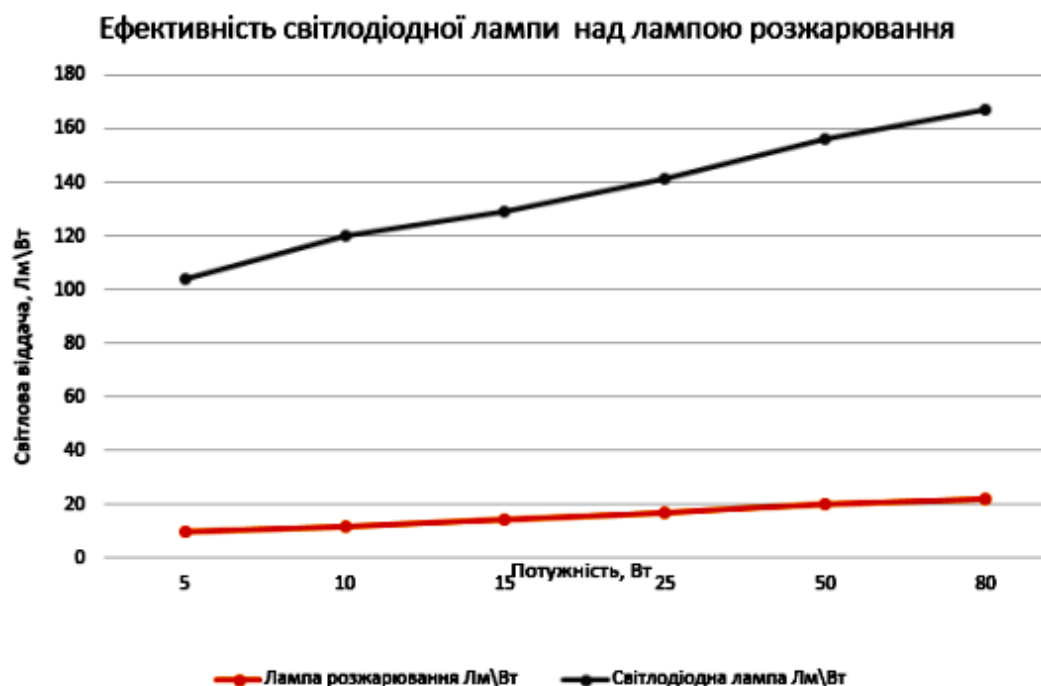


Рисунок 2.6 – Ефективність світловіддачі світлодіодної лампи та лампи розжарення залежно від потужності споживання

Побудуємо порівняльний графік (див. рис.2.7) для трьох типів ламп представлених в таблиці 2.2 за показниками світловіддачі.

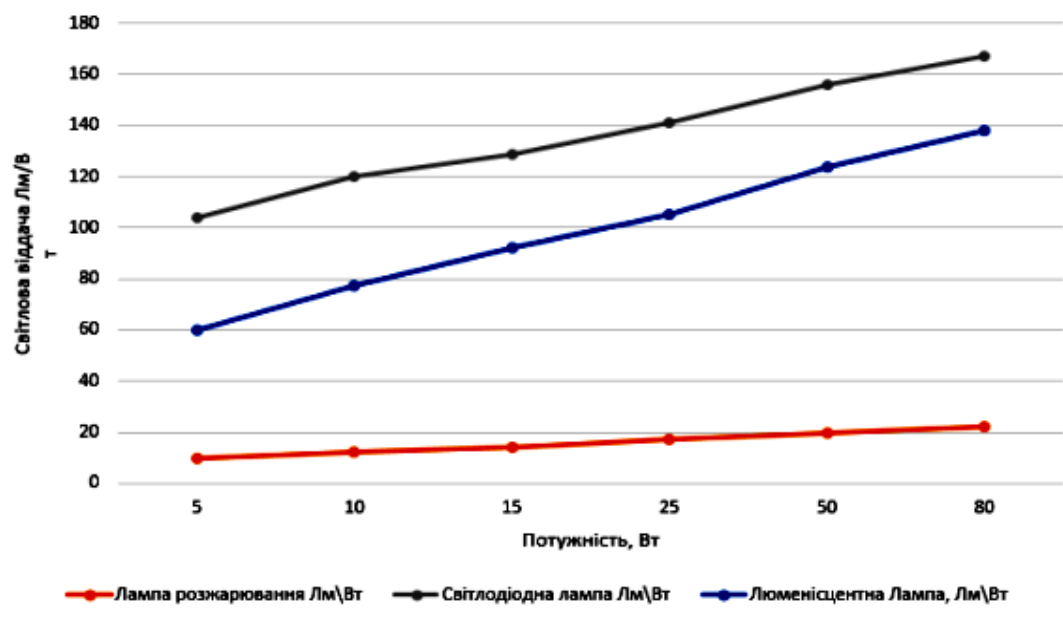


Рисунок 2.7 – Ефективність світловіддачі ламп різного типу представлених в таблиці 2.2 залежно від потужності споживання

У таблиці 2.3 представлено залежність світлового потоку світлодіодних, люмінесцентних ламп і ламп розжарення від споживаної потужності. На основі даних з таблиці 2.3 було створено графічну залежність, яка зображена на рисунку 2.8.

Таблиця 2.3 Залежність світлового потоку ламп від потужності

Потужність, Вт	Лампи розжарення, Лм/Вт	Люмінесцентні лампи, Лм/Вт	Світлодіодні лампи Лм/Вт
5	10	60	105
10	13	77	120
15	15	92	129
25	17	105	141
50	20	124	156
80	23	137	167

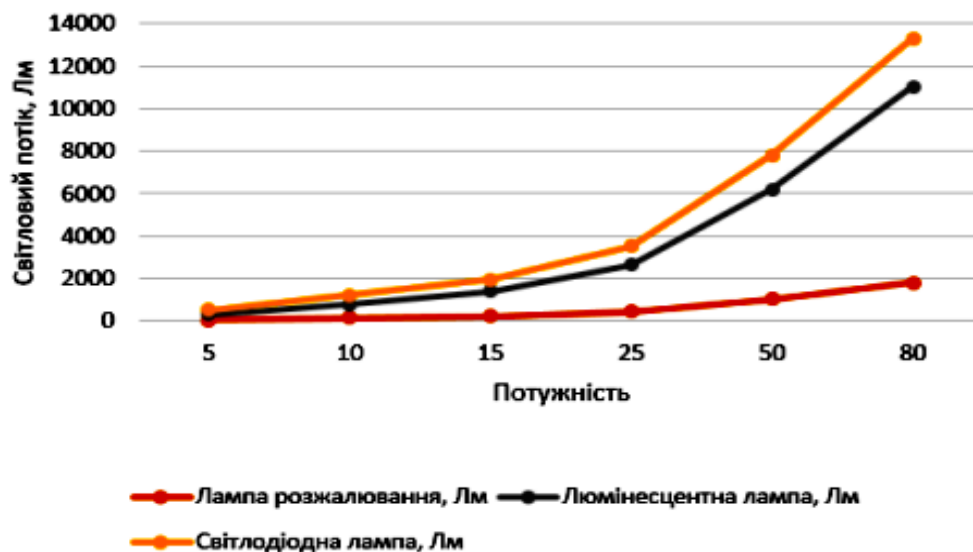


Рисунок 2.8 – Графік залежності світлового потоку ламп від потужності

На основі проведеного аналізу джерел світла можна зробити висновок, що при розробці нашої системи автоматизації енергоспоживання пристроїв, які виконують роль освітлення в офісних приміщеннях доцільно використати світлодіодні «LED» джерела. Це пояснюється тим, що вони сприяють підвищенню енергоефективності не лише завдяки вищій світловій віддачі, а й за рахунок зменшення втрат в освітлювальних мережах, а також надають більше можливостей для регулювання потужності та світлового потоку.

3 СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПРИСТРОЇВ, ЯКІ ВИКОНУЮТЬ РОЛЬ ОСВІТЛЕННЯ

3.1 Вихідні дані

Основою для створення системи автоматизації енергоспоживання пристроїв, які виконують роль освітлення в офісних приміщеннях у межах цього дипломного проєкту виступає план офісу, наведений на рисунку 3.1. Офіс складається з 12 кімнат, сумарна площа яких становить 207,01 м², і розташований на верхньому поверсі п'ятиповерхової адміністративної споруди в місті Житомир.

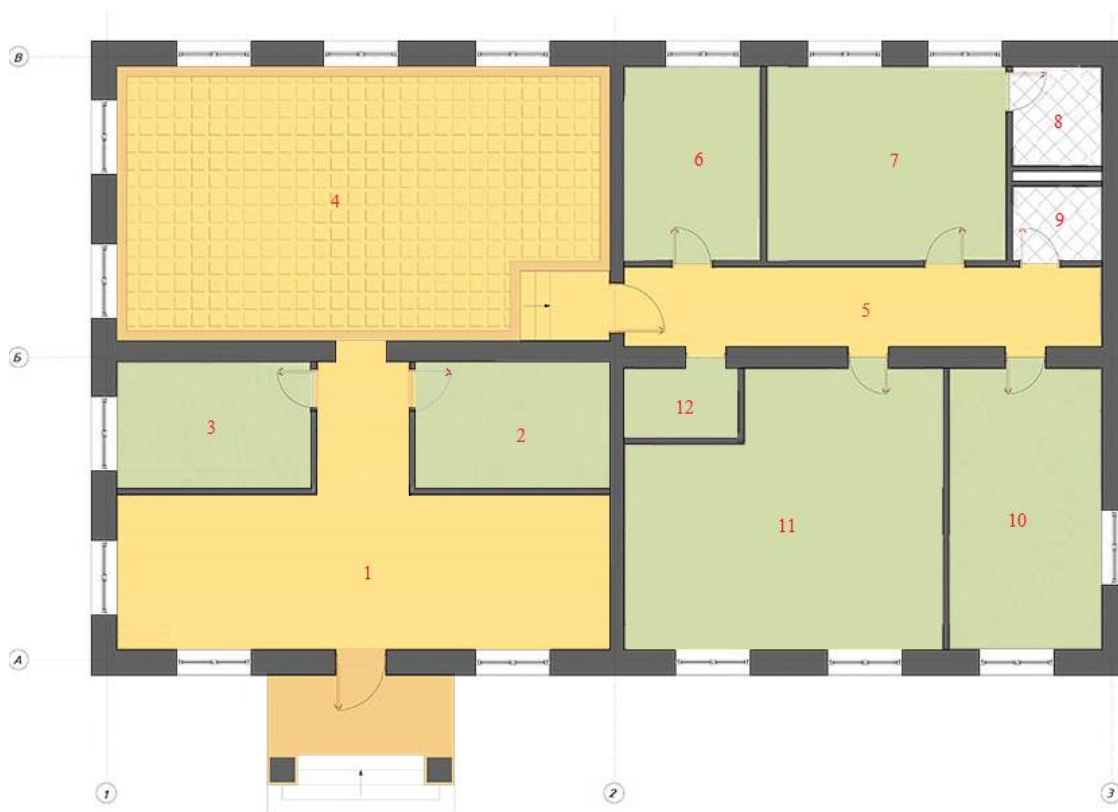


Рисунок 3.1 – План офісного приміщення

					ДП.141.042.019.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	3 СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПРИСТРОЇВ, ЯКІ ВИКОНУЮТЬ РОЛЬ ОСВІТЛЕННЯ		
Розробив	Канавський Н.О.						
Перевір	Антипчук Б.О.						
Н. Контр.	Антипчук Б.О.						
Затв.	Лавріщев О.О.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
					У	33	88
					ЖАТФК, Гр. Е-42		

Першим ключовим етапом у виконанні завдання цього дипломного проекту є розрахунок та визначення необхідного рівня освітленості в приміщеннях офісу, а також підрахунок кількості світильників і джерел світла. Для зручності всі необхідні геометричні розміри нашого офісу зведемо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Геометричні розміри кімнат офісного приміщення

№	Назва кімнати офісного приміщення	Довжина А, м	Ширина В, м	Площа S, м ²
1	Вестибюль	8,9	2,6	26,89
2	Кімната охорони	3,7	2,5	9,25
3	Кабінет 1	3,7	2,5	9,25
4	Маркетингова зала	8,9	5,1	45,39
5	Коридор	8,9	1,5	13,35
6	Кабінет 2	3,7	2,5	9,25
7	Кабінет директора	3,7	4,6	17,02
8	Туалет 1	2	1,8	3,6
9	Туалет 2	1,7	1,8	3,06
10	Кабінет 3	5,1	2,7	13,77
11	Кабінет 4	5,1	6,2	31,62
12	Кухня	2	1,7	3,4

Крім того, при подальших розрахунках необхідно враховувати, що висота всіх приміщень є стандартною і дорівнює 2,5 м.

3.2 Розрахунок рівня освітленості кімнат офісного приміщення

Рівень освітленості має значний вплив на продуктивність праці та загальне самопочуття. З 2019 року в Україні впроваджені державні норми щодо природного та штучного освітлення – ГСН В.2.5-28:2018, які встановлюють вимоги до використання всіх видів освітлювальних приладів. На основі цих норм (див. табл. 3.2) планується освітлення об'єктів, що, в свою чергу, визначає, які світильники та скільки ламп потрібно придбати і встановити.

Таблиця 3.2 – Норми освітленості у відповідності до ГСН В.2.5-28:2018

Приміщення	Норма, Лк
Вітальня, спальня (підлога); кухня (стіл)	150
Дитяча кімната (підлога)	200
Кабінет, бібліотека (стіл)	300
Коридор, вбиральня, ванна кімната (підлога)	50
Офіс (стіл)	300
Класна кімната школи, аудиторія (стіл)	500

Норми враховують усі ключові аспекти зору, фізіологічні процеси організму, а також чинники, що впливають на концентрацію та зорову напругу під час роботи і відпочинку (наприклад, контрастність і колір поверхні робочого столу).

На практиці для розрахунку штучного освітлення здебільшого застосовують три основні методи:

- метод світлового потоку (коефіцієнта використання): використовується для визначення загального рівномірного освітлення горизонтальних площин;
- точковий метод: використовується для розрахунку локалізованого та комбінованого освітлення, а також для освітлення нахилених поверхонь;
- метод питомої потужності є найпростішим, але водночас і найменш точним, тому його застосовують для орієнтовних, приблизних розрахунків.

Найбільш точним способом розрахунку загального рівномірного освітлення, який враховує прямий світловий потік від світильників та відбите світло від стін і стелі, є метод світлового потоку (або коефіцієнта використання світлового потоку). Основне розрахункове рівняння цього методу виглядає так:

$$\Phi_{\text{л}} = E_{\text{н}} \cdot S \cdot k_3 \cdot z / N \cdot n \cdot \eta, \quad (3.1)$$

де:

$\Phi_{\text{л}}$ – розрахункове значення світлового потоку однієї лампи в кожному світильнику, Лм;

$E_{\text{н}}$ – нормоване значення освітленості, Лк;

S – площа освітлюваної поверхні, м^2 ;

$k_{\text{з}}$ – коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт мінімальної освітленості;

N – загальна кількість світильників;

n – кількість ламп у одному світильнику;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Коефіцієнт нерівномірності (мінімального) освітлення z – це співвідношення середньої освітленості до мінімальної освітленості. Зазвичай його значення становить:

- $z = 1,1$ – для люмінесцентних ламп низького тиску та лінійних LED-світильників;
- $z = 1,15$ – для ламп розжарювання ЛР, газорозрядних ламп високого тиску типу та точкових LED-світильників.

У другому розділі цього дипломного проекту ми вже обрали тип джерел світла, який будемо використовувати в нашій системі – це LED-лампи. Вони мають переваги над іншими типами ламп як з економічної, так і з світлотехнічної точки зору, а також найкраще підходять для нашої системи автоматичного керування, так як дають змогу регулювати свою яскравість у широких межах. Оскільки в кімнатах нашого офісного приміщення переважно будуть використовуватися точкові світильники, ми приймемо коефіцієнт нерівномірності освітлення z рівний значенню 1,15.

Світлотехнічні властивості світильників в основному визначаються двома основними параметрами:

- співвідношенням світлового потоку, який світильник випромінює в нижню півсферу, до загального світлового потоку світильника;
- кривими сили світла.

Крива сили світла є однією з фізичних характеристик LED-освітлення, яка ілюструє графічне представлення розподілу світла в просторі. Це зображення подається у вигляді графіка, показаного на рисунку 3.2.

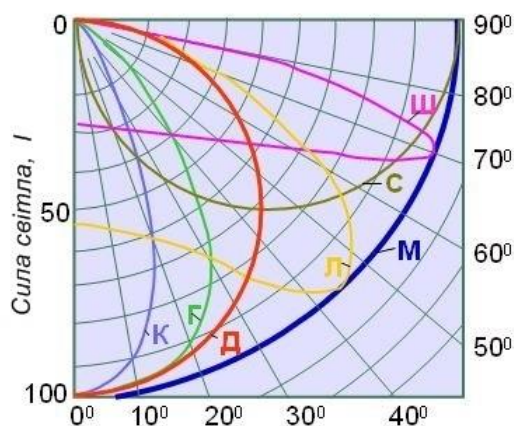


Рисунок 3.2 – Крива сили світла

Класифікацію світильників за світлорозподілом представлено в таблиці 3.3, а в таблиці 3.4 міститься класифікація світильників відповідно до графіка кривої сили світла. Усі ці дані є важливими для подальшого розрахунку світлового потоку, для вибору типу та кількості світильників у кожній кімнаті офісного приміщення, а також для проєктування нашої системи автоматизації енергоспоживання освітлювальних пристроїв в цілому.

Таблиця 3.3 – Класифікація світильників за світлорозподілом

Клас світильника за світлорозподілом	Доля світлового потоку світильника, яка спрямована у нижню півсферу, %	Використання світильників визначеного класу
Прямого світла	понад 80	для приміщень, в яких стіни і стеля мають невисокий коефіцієнт відбитку
Переважно прямого світла	60-80	для приміщень, в яких стіни і стеля мають високий коефіцієнт відбитку
Розсіяного світла	40-60	для приміщень, де небажані різкі тіні і тіні взагалі
Переважно відбитого світла	20-40	
Відбитого світла	менше 20	

Таблиця 3.4 – Класифікація світильників за типом кривої сили світла

Тип кривої сили світла		Коефіцієнт світильника L/h
К	Концентрована	0,4 – 0,7
Г	Глибока	0,8 – 1,2
Д	Косинусна	1,2 – 1,6
Л	Напівширока	1,4 – 2,0
Ш	Широка	1,6 – 2,2
М	Рівномірна	1,8 – 2,6
С	Синусна	2,0 – 2,8

Оскільки для розрахунку рівня освітленості кімнат офісного приміщення був обраний метод світлового потоку, необхідно визначитися із коефіцієнтом запасу. Цей коефіцієнт, позначений як k_z , залежить від висоти стелі приміщення, для якого проводяться розрахунки. Основні співвідношення між коефіцієнтом запасу та висотою стелі, відповідно до вимог ГСН В.2.5-28:2018, наведені у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Залежність коефіцієнту запасу від висоти приміщення

Висота приміщення, м	Коефіцієнт запасу K_z
до 2,7	1
від 2,7 до 3	1,2
від 3 до 3,5	1,5
від 3,5 до 4	2

Як вже було зазначено, висота стелі в офісному приміщенні є стандартною і становить 2,5 м. Згідно з даними таблиці 3.5, коефіцієнт запасу k_z приймається рівним 1.

Після встановлення необхідних параметрів і коефіцієнтів, які знадобляться для світлотехнічного розрахунку, можна перейти до визначення числового значення індексу кожної кімнати офісного приміщення за відповідною формулою:

$$i_{\text{приміщення}} = \frac{S}{h \cdot (A + B)}, \quad (3.2)$$

де:

$i_{\text{приміщення}}$ – індекс кімнати офісного приміщення;

S – площа освітлюваної поверхні кімнати офісного приміщення, м^2 ;

A – довжина кімнати офісного приміщення, м;

B – ширина кімнати офісного приміщення, м;

h – допустима висота розміщення світильників над робочою поверхнею в кімнаті офісного приміщення, м.

З формули 3.2 видно, що для обчислення індексу приміщення необхідно визначити висоту підвісу світильника над робочою поверхнею. Для цього слід визначити кількість рядів світильників у приміщенні. Інформація, представлена в таблиці 3.4, разом із наведеною нижче формулою, допоможе здійснити цей розрахунок:

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) \cdot [L/h]}, \quad (3.3)$$

де:

N_p – кількість рядів світильників в кімнаті офісного приміщення, шт.;

H – висота приміщення кімнати офісного приміщення, м;

h_p – висота робочої поверхні над підлогою в кімнаті офісного приміщення, м;

B – ширина кімнати офісного приміщення, м;

$[L/h]$ – числове значення коефіцієнта світильника (вибираємо із таблиці 3.4).

Згідно з даними таблиць 3.1 та 3.2, у більшості офісних приміщень основне освітлення сконцентровано або на робочій зоні, або на підлозі. Тому обираємо числове значення коефіцієнта світильника, рівне $[L/h] = 0,55$ і приймаємо висоту умовної робочої поверхні над підлогою приміщення рівною $h_p = 0,8$ м відповідно до загальноприйнятих норм.

На основі всієї наведеної вище інформації, перейдемо до обчислення необхідної кількості рядів світильників для кожної кімнати офісного приміщення, використовуючи формулу 3.3:

$$N_{p(\text{вестибюль})} = \frac{2,6}{(2,5-0,8) \cdot 0,55} = 2,78 \approx 3 \text{ ряди ;}$$

$$N_{p(\text{кімната охорони})} = \frac{2,5}{(2,5 - 0,8) \cdot 0,55} = 2,67 \approx 3 \text{ ряд ;}$$

$$N_{p(\text{кабінет 1})} = \frac{2,5}{(2,5 - 0,8) \cdot 0,55} = 2,67 \approx 3 \text{ ряди ;}$$

$$N_{p(\text{маркетингова зала})} = \frac{5,1}{(2,5 - 0,8) \cdot 0,55} = 5,4 \approx 5 \text{ рядів ;}$$

$$N_{p(\text{коридор})} = \frac{1,5}{(2,5 - 0,8) \cdot 0,55} = 1,6 \approx 2 \text{ ряди ;}$$

$$N_{p(\text{кабінет 2})} = \frac{2,5}{(2,5 - 0,8) \cdot 0,55} = 2,67 \approx 3 \text{ ряди ;}$$

$$N_{p(\text{кабінет директора})} = \frac{4,6}{(2,5 - 0,8) \cdot 0,55} = 4,91 \approx 5 \text{ рядів ;}$$

$$N_{p(\text{туалет 1})} = \frac{1,8}{(2,5 - 0,8) \cdot 0,55} = 1,92 \approx 2 \text{ ряди ;}$$

$$N_{p(\text{туалет 2})} = \frac{1,8}{(2,5 - 0,8) \cdot 0,55} = 1,92 \approx 2 \text{ ряди ;}$$

$$N_{p(\text{кабінет 3})} = \frac{2,7}{(2,5 - 0,8) \cdot 0,55} = 2,88 \approx 3 \text{ ряди ;}$$

$$N_{p(\text{кабінет 4})} = \frac{6,2}{(2,5 - 0,8) \cdot 0,55} = 6,63 \approx 7 \text{ рядів ;}$$

$$N_{p(\text{кухня})} = \frac{1,7}{(2,5-0,8) \cdot 0,55} = 1,81 \approx 2 \text{ ряди} .$$

Тепер проведемо розрахунок максимальної допустимої відстані між рядами світильників для кожної із кімнат офісного приміщення за формулою:

$$L_{\max} = \frac{B}{N_p} , \quad (3.4)$$

де:

B – ширина кімнати офісного приміщення, м;

N_p – кількість рядів світильників в кімнаті офісного приміщення, шт.;

$L_{\max}$ – максимальна допустима відстань між рядами світильників в кімнаті офісного приміщення, м.

Отже, отримаємо:

$$L_{\max(\text{вестибюль})} = \frac{2,6}{3} = 0,86 \text{ м} ;$$

$$L_{\max(\text{кімната охорони})} = \frac{2,5}{3} = 0,83 \text{ м} ;$$

$$L_{\max(\text{кабінет 1})} = \frac{2,5}{3} = 0,83 \text{ м} ;$$

$$L_{\max(\text{маркетингова зала})} = \frac{5,1}{5} = 1 \text{ м} ;$$

$$L_{\max(\text{коридор})} = \frac{1,5}{2} = 0,75 \text{ м} ;$$

$$L_{\max(\text{кабінет 2})} = \frac{2,5}{3} = 0,83 \text{ м ;}$$

$$L_{\max(\text{кабінет директора})} = \frac{4,6}{5} = 0,92 \text{ м ;}$$

$$L_{\max(\text{туалет 1})} = \frac{1,8}{2} = 0,9 \text{ м ;}$$

$$L_{\max(\text{туалет 2})} = \frac{1,8}{2} = 0,9 \text{ м ;}$$

$$L_{\max(\text{кабінет 3})} = \frac{2,7}{3} = 0,9 \text{ м ;}$$

$$L_{\max(\text{кабінет 4})} = \frac{6,2}{7} = 0,88 \text{ м ;}$$

$$L_{\max(\text{кухня})} = \frac{1,7}{2} = 0,85 \text{ м .}$$

Наступним кроком обчислимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = \frac{L_{\max}}{[L/h]} , \quad (3.5)$$

де:

$L_{\max}$ – максимальна допустима відстань між рядами світильників в кімнаті офісного приміщення, м;

$[L/h]$ – числове значення коефіцієнта світильника;

h – допустима висота розміщення світильників над робочою поверхнею в кімнаті офісного приміщення, м.

Отже, будемо мати:

$$h_{\text{(вестибюль)}} = \frac{0,86}{0,55} = 1,6 \text{ м ;}$$

$$h_{\text{(кімната охорони)}} = \frac{0,83}{0,55} = 1,5 \text{ м ;}$$

$$h_{\text{(кабінет 1)}} = \frac{0,83}{0,55} = 1,5 \text{ м ;}$$

$$h_{\text{(маркетингова зала)}} = \frac{1}{0,55} = 1,81 \text{ м ;}$$

$$h_{\text{(коридор)}} = \frac{0,75}{0,55} = 1,36 \text{ м ;}$$

$$h_{\text{(кабінет 2)}} = \frac{0,83}{0,55} = 1,5 \text{ м ;}$$

$$h_{\text{(кабінет директора)}} = \frac{0,92}{0,55} = 1,67 \text{ м ;}$$

$$h_{\text{(туалет 1)}} = \frac{0,9}{0,55} = 1,63 \text{ м ;}$$

$$h_{\text{(туалет 2)}} = \frac{0,9}{0,55} = 1,63 \text{ м ;}$$

$$h_{\text{(кабінет 3)}} = \frac{0,88}{0,55} = 1,6 \text{ м ;}$$

$$h_{\text{(кабінет 4)}} = \frac{0,85}{0,55} = 1,54 \text{ м};$$

$$h_{\text{(кухня)}} = \frac{0,85}{0,55} = 1,54 \text{ м.}$$

Наступним кроком проведемо розрахунок та визначимо висоту звисання світильника від стелі в кожній із кімнат офісного приміщення за формулою:

$$h_z = H - h_p - h, \quad (3.6)$$

де:

H – висота приміщення кімнати офісного приміщення, м;

h_p – висота робочої поверхні над підлогою в кімнаті офісного приміщення, м;

h – допустима висота розміщення світильників над робочою поверхнею в кімнаті офісного приміщення, м;

h_z – висота звисання світильника від стелі в кімнаті офісного приміщення, м.

Отримаємо, що:

$$h_{z(\text{вестибюль})} = 2,5 - 0,8 - 1,6 = 0,1 \text{ м};$$

$$h_{z(\text{кімната охорони})} = 2,5 - 0,8 - 1,5 = 0,2 \text{ м};$$

$$h_{z(\text{кабінет 1})} = 2,5 - 0,8 - 1,5 = 0,2 \text{ м};$$

$$h_{z(\text{маркетингова зала})} = 2,5 - 0,5 - 1,81 = 0,19 \text{ м};$$

$$h_{z(\text{коридор})} = 2,5 - 0,8 - 1,36 = 0,34 \text{ м};$$

$$h_{з(кабінет\ 2)} = 2,5 - 0,8 - 1,5 = 0,2\text{ м} ;$$

$$h_{з(кабінет\ директора)} = 2,5 - 0,8 - 1,67 = 0,03\text{ м} ;$$

$$h_{з(туалет\ 1)} = 2,5 - 0,8 - 1,63 = 0,07\text{ м} ;$$

$$h_{з(туалет\ 2)} = 2,5 - 0,8 - 1,63 = 0,07\text{ м} ;$$

$$h_{з(кабінет\ 3)} = 2,5 - 0,8 - 1,6 = 0,1\text{ м} ;$$

$$h_{з(кабінет\ 4)} = 2,5 - 0,8 - 1,54 = 0,16\text{ м} ;$$

$$h_{з(кухня)} = 2,5 - 0,8 - 1,54 = 0,16\text{ м} .$$

Висота звисання світильника від стелі в кімнаті офісного приміщення може бути визначена з урахуванням технологічної доцільності. Іншими словами, відповідно до формули 3.6 були розраховані максимально допустимі межі, які рекомендовано використовувати для встановлення світильників у кожній конкретній кімнаті офісного приміщення.

Наступним етапом розрахунку буде визначення чисельного значення індексу кожної кімнати офісного приміщення згідно з формулою 3.2:

$$i_{(вестибюль)} = \frac{26,89}{1,6 \cdot (8,9 + 2,6)} = 1,46 ;$$

$$i_{(кімната\ охорони)} = \frac{9,25}{1,5 \cdot (3,7 + 2,5)} = 0,99 ;$$

$$i_{(кабінет\ 1)} = \frac{9,25}{1,5 \cdot (3,7 + 2,5)} = 0,99 ;$$

$$i_{(\text{маркетингова зала})} = \frac{45,39}{1,81 \cdot (8,9 + 5,1)} = 1,8 ;$$

$$i_{(\text{коридор})} = \frac{13,35}{1,36 \cdot (8,9 + 1,5)} = 0,94 ;$$

$$i_{(\text{кабіне 2})} = \frac{9,25}{1,5 \cdot (3,7 + 2,5)} = 0,99 ;$$

$$i_{(\text{кабінет директора})} = \frac{17,02}{1,67 \cdot (3,7 + 4,6)} = 1,2 ;$$

$$i_{(\text{туалет 1})} = \frac{3,6}{1,63 \cdot (2 + 1,8)} = 0,3 ;$$

$$i_{(\text{туалет 2})} = \frac{3,06}{1,63 \cdot (1,7 + 1,8)} = 0,54 ;$$

$$i_{(\text{кабінет 3})} = \frac{13,77}{1,6 \cdot (5,1 + 2,7)} = 1,1 ;$$

$$i_{(\text{кабінет 4})} = \frac{31,62}{1,54 \cdot (5,1 + 6,2)} = 1,8 ;$$

$$i_{(\text{кухня})} = \frac{3,4}{1,54 \cdot (2 + 1,7)} = 0,6 .$$

Залежно від рівня пиловиділення в процесі роботи та коефіцієнтів відбиття поверхонь (ρ_c , ρ_{cm} , ρ_n), приміщення поділяються на наступні типи:

- світлі приміщення: $\rho_c=70\%$; $\rho_{cm}=50\%$; $\rho_n=30\%$;
- приміщення з незначним пиловим виділенням $\rho_c=50\%$; $\rho_{cm}=30\%$;
 $\rho_n=10\%$;

- приміщення зі значним пиловим виділенням $\rho_c=30\%$; $\rho_{cm}=10\%$; $\rho_n=10\%$.

Офісне приміщення, яке аналізується в рамках даного дипломного проєкту, є адміністративного типу. Тому для нього встановлюються значення коефіцієнтів відбиття поверхонь: $\rho_c=70\%$; $\rho_{cm}=50\%$; $\rho_n=30\%$. Таким чином, усі кімнати офісу класифікуються як світлі приміщення.

Для обчислення коефіцієнта використання світлового потоку η , що потрібний для подальшого аналізу, будемо використовувати дані таблиці 3.6. У ній, на основі індексу приміщення та коефіцієнтів відбиття поверхонь, можна підібрати відповідне значення цього коефіцієнта.

Таблиця 3.6 – Значень коефіцієнта використання світлового потоку

ρ_c , %	ρ_{cm} , %	ρ_n , %	Коефіцієнт використання світлового потоку η , % при індексі приміщення i											
			0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,25	1,5	1,75	2,0	
70	50	30	0,25	0,31	0,35	0,38	0,41	0,43	0,45	0,47	0,50	0,54	0,56	
50	30	10	0,23	0,29	0,33	0,36	0,38	0,40	0,32	0,44	0,46	0,50	0,52	
30	10	10	0,20	0,26	0,30	0,22	0,35	0,37	0,49	0,41	0,44	0,48	0,50	

Враховуючи дані таблиці 2.6, оберемо значення коефіцієнта використання світлового потоку η для кожної із кімнат офісного приміщення:

- вестибюль: $\eta = 0,5$;
- кімната охорони: $\eta = 0,43$;
- кабінет 1: $\eta = 0,43$;
- маркетингова зала: $\eta = 0,56$;
- коридор: $\eta = 0,43$;
- кабінет 2: $\eta = 0,43$;
- кабінет директора: $\eta = 0,50$;
- туалет 1: $\eta = 0,25$;
- туалет 2: $\eta = 0,31$;
- кабінет 3: $\eta = 0,45$;

- кабінет 4: $\eta = 0,56$;
- кухня: $\eta = 0,31$.

Тепер визначимо сумарний світловий потік у кожній кімнаті офісного приміщення за формулою:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_z \cdot z}{\eta}, \quad (3.7)$$

де:

Φ_{Σ} – розрахункове значення сумарного світлового потоку у кімнаті офісного приміщення, Лм;

E_n – нормоване значення освітленості кімнати офісного приміщення, Лк;

S – площа освітлюваної поверхні кімнати офісного приміщення, м²;

k_z – коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт мінімальної освітленості;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Отже, враховуючі дані таблиць 3.1, 3.2 та 3.5 будемо мати наступні результати:

$$\Phi_{\Sigma \text{вестибюль}} = \frac{150 \cdot 26,89 \cdot 1 \cdot 1,15}{0,5} = 9277 \text{ Лм};$$

$$\Phi_{\Sigma \text{кімната охорони}} = \frac{300 \cdot 9,25 \cdot 1 \cdot 1,15}{0,43} = 7421 \text{ Лм};$$

$$\Phi_{\Sigma \text{кабінет 1}} = \frac{300 \cdot 9,25 \cdot 1 \cdot 1,15}{0,43} = 7421 \text{ Лм};$$

$$\Phi_{\Sigma \text{маркетингова зала}} = \frac{150 \cdot 45,39 \cdot 1 \cdot 1,15}{0,56} = 13982 \text{ Лм};$$

$$\Phi_{\Sigma \text{коридор}} = \frac{50 \cdot 13,35 \cdot 1 \cdot 1,15}{0,43} = 1785 \text{ Лм ;}$$

$$\Phi_{\Sigma \text{кабінет 2}} = \frac{300 \cdot 9,25 \cdot 1 \cdot 1,15}{0,43} = 11743,8 \text{ Лм ;}$$

$$\Phi_{\Sigma \text{кабінет директора}} = \frac{300 \cdot 17,02 \cdot 1 \cdot 1,15}{0,5} = 11744 \text{ Лм ;}$$

$$\Phi_{\Sigma \text{туалет 1}} = \frac{50 \cdot 3,6 \cdot 1 \cdot 1,15}{0,25} = 207 \text{ Лм ;}$$

$$\Phi_{\Sigma \text{туалет 2}} = \frac{50 \cdot 3,06 \cdot 1 \cdot 1,15}{0,31} = 567 \text{ Лм ;}$$

$$\Phi_{\Sigma \text{кабінет 3}} = \frac{300 \cdot 13,77 \cdot 1 \cdot 1,15}{0,45} = 10557 \text{ Лм ;}$$

$$\Phi_{\Sigma \text{кабінет 4}} = \frac{300 \cdot 31,62 \cdot 1 \cdot 1,15}{0,56} = 19480 \text{ Лм ;}$$

$$\Phi_{\Sigma \text{кухня}} = \frac{150 \cdot 3,4 \cdot 1 \cdot 1,15}{0,31} = 1892 \text{ Лм .}$$

3.3 Розрахунок оптимальної кількості світильників для кімнат офісного приміщення та вибір їх типу

Для визначення потрібної кількості світильників у кожному приміщенні офісу застосовується наступна формула:

$$N^* = \frac{S}{L_{\max}^2}, \quad (3.8)$$

де:

N^* – кількість LED-світильників в кімнаті офісного приміщення, шт.;

S – площа освітлюваної поверхні кімнати офісного приміщення, м^2 ;

$L_{\max}$ – максимальна допустима відстань між рядами світильників в кімнаті офісного приміщення, м.

Оскільки всі необхідні величини нам вже відомі, то будемо мати, що:

$$N^*_{\text{вестибюль}} = \frac{26,89}{0,86^2} = 36 \text{ шт};$$

$$N^*_{\text{вестибюль}} = \frac{26,89}{0,86^2} = 36 \text{ шт};$$

$$N^*_{\text{кімната охорони}} = \frac{9,25}{0,83^2} = 13 \text{ шт};$$

$$N^*_{\text{кабінет 1}} = \frac{9,25}{0,83^2} = 13 \text{ шт};$$

$$N^*_{\text{маркетингова зала}} = \frac{45,39}{1^2} = 45 \text{ шт};$$

$$N^*_{\text{коридор}} = \frac{13,35}{0,75^2} = 23 \text{ шт};$$

$$N^*_{\text{кабінет 2}} = \frac{9,25}{0,83^2} = 13 \text{ шт};$$

$$N^*_{\text{кабінет директора}} = \frac{17,02}{0,92^2} = 20 \text{ шт ;}$$

$$N^*_{\text{туалет 1}} = \frac{3,6}{0,9^2} = 4 \text{ шт ;}$$

$$N^*_{\text{туалет 2}} = \frac{3,06}{0,9^2} = 4 \text{ шт ;}$$

$$N^*_{\text{кабінет 3}} = \frac{13,77}{0,9^2} = 17 \text{ шт ;}$$

$$N^*_{\text{кабінет 4}} = \frac{31,62}{0,88^2} = 41 \text{ шт ;}$$

$$N^*_{\text{кухня}} = \frac{3,4}{0,85^2} = 5 \text{ шт .}$$

На цьому етапі слід уточнити кількість світильників, щоб вона відповідала рівномірному розташуванню в кожному ряді. Для цього застосуємо відповідну формулу, яка забезпечить правильне розміщення світильників у приміщенні:

$$N^*_{\text{ск.}} = \frac{N^*}{N_p}, \quad (3.9)$$

де:

$N^*_{\text{ск.}}$ – скорегована кількість LED-світильників в кімнаті офісного приміщення, шт./ряд;

N^* – кількість LED-світильників в конкретній кімнаті офісного приміщення, шт.;

N_p – кількість рядів світильників в кімнаті офісного приміщення, шт.

Будемо мати, що:

$$N^*_{\text{вестибюль}} = \frac{36}{3} = 12 \rightarrow \text{приймаємо 12 шт./ряд ;}$$

$$N^*_{\text{кімната охорони}} = \frac{13}{3} = 4,3 \rightarrow \text{приймаємо 4 шт./ряд ;}$$

$$N^*_{\text{кабінет 1}} = \frac{13}{3} = 4,3 \rightarrow \text{приймаємо 4 шт./ряд ;}$$

$$N^*_{\text{маркетингова зала}} = \frac{45}{5} = 9 \rightarrow \text{приймаємо 9 шт./ряд ;}$$

$$N^*_{\text{коридор}} = \frac{23}{2} = 11,5 \rightarrow \text{приймаємо 11 шт./ряд ;}$$

$$N^*_{\text{кабінет 2}} = \frac{13}{3} = 4,3 \rightarrow \text{приймаємо 4 шт./ряд ;}$$

$$N^*_{\text{кабінет директора}} = \frac{20}{5} = 4 \rightarrow \text{приймаємо 4 шт./ряд ;}$$

$$N^*_{\text{туалет 1}} = \frac{4}{2} = 2 \rightarrow \text{приймаємо 2 шт./ряд ;}$$

$$N^*_{\text{туалет 2}} = \frac{4}{2} = 2 \rightarrow \text{приймаємо 2 шт./ряд ;}$$

$$N^*_{\text{кабінет 3}} = \frac{17}{3} = 5,6 \rightarrow \text{приймаємо 5 шт./ряд ;}$$

$$N^*_{\text{кабінет 4}} = \frac{41}{7} = 5,8 \rightarrow \text{приймаємо 6 шт./ряд ;}$$

$$N_{\text{кабінет 4}}^* = \frac{5}{2} = 2,5 \rightarrow \text{приймаємо 2 шт./ряд.}$$

Наступним кроком є підбір типу світильників відповідно до розрахованого сумарного значення світлового потоку за формулою 3.7. Для зручності результати вибору типів світильників для кожної кімнати офісного приміщення будуть представлені в таблиці 3.7.

Однак при виборі точкових світильників важливо враховувати, що:

$$\Phi_{\Sigma} \leq \Phi_{\Sigma \text{ виб. світ.}}, \quad (3.10)$$

де:

Φ_{Σ} – розрахункове значення сумарного світлового потоку у кімнаті офісного приміщення, Лм;

$\Phi_{\Sigma \text{ виб. світ.}}$ – загальний світловий потік вибраних типів світильників в кімнаті офісного приміщення, Лм.

Таблиця 3.7 – Вибір типу світильників офісного приміщення

Назва кімнати квартирного приміщення	Розрахункове значення сумарного світлового потіку у приміщенні Φ_{Σ} Лм	Тип обраного світильника, та його світловий потік, Φ світильника, Лм	Скорегована кількість світильників в кімнаті квартирного приміщення $N_{ск.}^*$ шт./ряд	Загальний світловий потік вибраних типів світильників $\Phi_{\Sigma \text{ виб. світ.}}$ Лм
1	2	3	4	5
Вестибюль	9277	 SUNLED Φ світильника = 260 Лм	12 шт. / 3 ряд.	9360

Продовження таблиці 3.7

1	2	3	4	5
Кімната охорони	7421	 BIT S Φ світильника = 650 Лм	4 шт. / 3 ряд.	7800
Кабінет 1	7421	 BIT S Φ світильника = 650 Лм	4 шт. / 3 ряд.	7800
Маркетингова зала	13989	 NOWODVORSKI Φ світильника = 320 Лм	9 шт. / 5 ряд.	14400
Коридор	1785	 BRILLE Φ світильника = 100 Лм	11 шт. / 2 ряд.	2200
Кабінет 2	11743,8	 NOWODVORSKI Φ світильника = 1000 Лм	4 шт. / 3 ряд.	12000
Кабінет директора	11744	 AZZARDO Φ світильника = 600 Лм	4 шт. / 5 ряд.	12000

Продовження таблиці 3.7

1	2	3	4	5
Туалет 1	207	 HOROZ ELECTRIC Φ світильника = 100 Лм	2 шт. / 2 ряд.	400
Туалет 2	567	 HOROZ ELECTRIC Φ світильника = 150 Лм	2 шт. / 2 ряд.	600
Кабінет 3	10557	 NOWODVORSKI Φ світильника = 750 Лм	5 шт. / 3 ряд.	11250
Кабінет 4	19480	 NOWODVORSKI Φ світильника = 500 Лм	6 шт. / 7 ряд.	21000
Кухня	1892	 LEZARD PANEL Φ світильника = 500 Лм	2 шт. / 2 ряд.	2000

3.4 Розрахунок кількості та вибір типу датчиків освітленості та руху

Датчик освітленості (світловий датчик) – це пасивний пристрій, що перетворює світлову енергію з видимої або інфрачервоної частини спектра на електричний сигнал на виході.

Датчики світла, які також відомі як фотоелектричні пристрої або фотосенсори, виконують функцію перетворення світлової енергії (фотонів) на електричну (електрони). Ці датчики генерують вихідний сигнал, що відображає інтенсивність світла, шляхом вимірювання енергії випромінювання в дуже вузькому діапазоні частот. Це випромінювання, яке зазвичай називають "світлом", охоплює частоти від інфрачервоного до ультрафіолетового спектру (див. рис. 3.3).

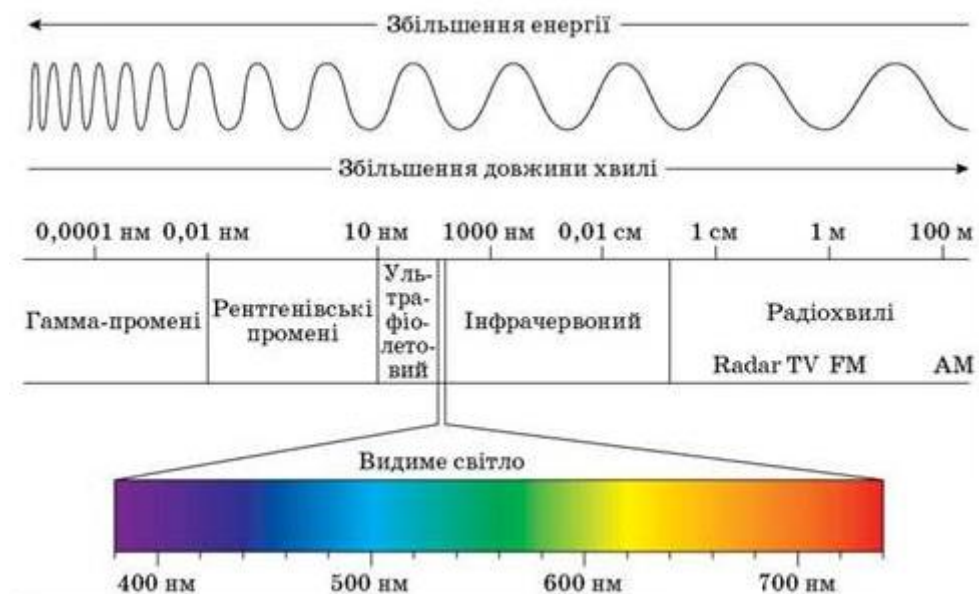


Рисунок 3.3 – Шкала електромагнітних хвиль

При визначенні необхідної кількості датчиків освітленості для кімнат офісного приміщення, зазвичай враховують лише ті приміщення, де є вікна. Це пояснюється тим, що якщо в кімнату не надходить денне світло, датчик не матиме на що реагувати, і, відповідно, не зможе регулювати яскравість ламп. Тому для розрахунку кількості датчиків освітленості, які будуть використані

в розроблюваній нами системі автоматизації енергоспоживання освітлювальних пристроїв, застосуємо наступну формулу:

$$n_{\text{до}} = n_{\text{к. з вікн.}}, \quad (3.11)$$

де:

$n_{\text{до}}$ – кількість датчиків освітленості, шт.;

$n_{\text{к. з вікн.}}$ – кількість кімнат офісного приміщення у яких є вікна.

Однак слід зазначити, що якщо площа кімнати офісного приміщення достатньо великого розміру, то доцільно буде встановити не один, а, як мінімум, два датчики освітленості для збільшення зони контролю за якістю рівня освітленості.

Отже, враховуючи вираз 3.11 та зазначену вище інформацію, а також план офісного приміщення зображений на рисунку 3.1, датчики освітленості будуть встановлені в наступних кімнатах офісу:

- «Вестибюль» – два датчики освітленості;
- «Кабінет 1» – один датчик освітленості;
- «Маркетингова зала» – два датчики освітленості;
- «Кабінет 2» – один датчик освітленості;
- «Кабінет директора» – один датчик освітленості;
- «Кабінет 3» – один датчик освітленості;
- «Кабінет 4» – два датчик освітленості.

Як бачимо, загальна кількість датчиків освітленості в нашій системі автоматичного керування освітлювальними пристроями становитиме 9 шт.

На сьогоднішній день на українському ринку продажу представлений широкий асортимент різних датчиків освітленості. Більшість з них не є програмованими, тобто не можуть бути підключені до мікроконтролера, що не відповідає вимогам нашого дипломного проєкту, оскільки система енергоспоживання пристроїв, які виконують роль освітлення в нашому

офісному приміщенні повинна бути повністю автоматизованою. Тому єдиним доцільним варіантом для нас є датчик освітленості, а саме модуль, що базується на мікросхемі LM393 (див. рис. 3.4).

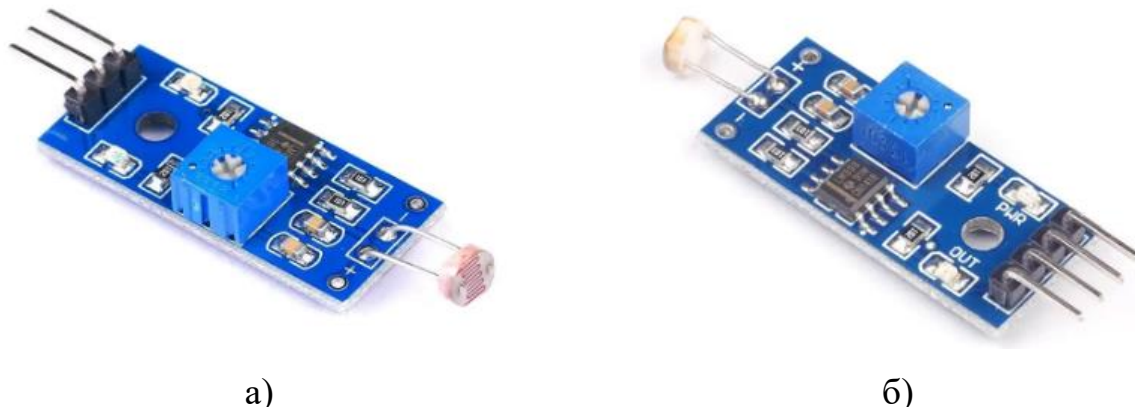


Рисунок 3.4 – Модуль освітленості LM393: а) – 3-х контактний;
б) – 4-х контактний

Модуль освітленості на базі LM393 призначений для вимірювання інтенсивності світла в різноманітних освітлювальних системах. Вимірювання відбувається за допомогою світлочутливого елемента (фоторезистора), який змінює свій опір залежно від рівня освітленості. Існує два типи модулів, які відрізняються лише кількістю виводів (3-х контактний та 4-х контактний). Додатковий вивід у 4-х контактному модулі дозволяє здійснювати пряме зчитування з фоторезистора (аналоговий вихід). У обох типах модулів вимірювання проводиться за допомогою фоторезистора, який змінює напругу в електричному колі в залежності від кількості світла, що на нього потрапляє.

Освітлювальний модуль LM393 з чотирма виходами має два вихідні контакти: один аналоговий і один цифровий, а також два контакти для підключення живлення. Для зчитування аналогового сигналу передбачено окремий вихід «АО», з якого можна отримувати показники напруги в діапазоні від 0 В до 3,3 В або 5 В, в залежності від джерела живлення. В залежності від рівня освітленості в приміщенні, чутливість модуля можна налаштувати за допомогою поворотного потенціометра. Цифровий вихід

модуля здатний забезпечувати струм понад 15 мА, що значно спрощує його використання. Це дозволяє підключати модуль безпосередньо до входу одноканального реле або одного з входів двоканального реле, обходячи мікроконтролер.

Датчик руху (або присутності) – це пристрій, призначений для виявлення руху в приміщенні. Він використовується для визначення присутності людини та, в нашому випадку, для автоматичного управління освітленням. Датчики руху можуть застосовувати різні технології, такі як інфрачервона, ультразвукова, мікрохвильова та інші.

Основною характеристикою датчика руху є його кут виявлення та діапазон відстані, на якій він активується. Тому при виборі таких датчиків слід орієнтуватися на моделі з широким кутом виявлення та максимально можливим радіусом спрацювання. Кількість необхідних датчиків руху визначається за допомогою формули:

$$n_{\text{др}} = \frac{S_{\text{пр}}}{r_{\text{др}}^2}, \quad (3.12)$$

де:

$n_{\text{др}}$ – кількість датчиків освітленості в кімнаті офісного приміщення, шт.;

$S_{\text{пр}}$ – загальна площа кімнати офісного приміщення, м²;

$r_{\text{др}}$ – максимальний радіус відстань спрацювання датчика руху, м.

Проте, як впливає з вищесказаного, для розрахунку необхідної кількості датчиків руху спочатку потрібно визначити їх тип та модель виробника.

Вибір типу датчика руху та його моделі буде здійснюватися аналогічно до вибору датчика освітленості. Основними критеріями для вибору стануть можливість підключення до мікроконтролера, широкий кут спрацювання та радіус дії. Тому оптимальним варіантом для вирішення наших завдань є датчик руху HC SR501 (див. рис. 3.5), який відповідає всім нашим вимогам.



Рисунок 3.5 – Датчик руху HC SR501

Датчик руху HC SR501, відомий також як піроелектричний, пасивний інфрачервоний або інфрачервоний датчик руху, представлений на зображенні вище. Це компактна друкована плата розміром приблизно 1,2 x 0,9 дюйма, на лицьовій стороні якої розташований PIR-датчик руху, захищений білою лінзою Френеля, що підвищує його ефективність. Модуль PIR реагує на зміни інфрачервоного випромінювання або тепла, яке виділяється тілом людини або тварини під час руху. Коли піроелектричний датчик фіксує таке явище, він генерує вихідний сигнал, який обробляється мікросхемою BISS0001. BISS001 – це енергоефективний, високоякісний та надійний чіп для обробки сигналів PIR, виготовлений за технологією CMOS.

До основних характеристик датчика HC SR501 відносять:

- широкий діапазон робочої напруги від 4,8 В до 20 В;
- низьке споживання енергії в режимі очікування лише 50 мкА та 65 мА у повністю активному режимі;
- висока надійність;
- регульована чутливість або відстань виявлення;
- можливість підключення до мікроконтролера, платформ Arduino чи Raspberry Pi;
- кут виявлення 120 градусів;
- радіус відстані спрацювання від 3 до 7 метрів.

Отже, за виразом 3.12 та даними таблиці 3.1 визначимо необхідну кількістю датчиків руху HC SR501, які будуть використані в нашій системі автоматизації енергоспоживання освітлювальних пристроїв офісного приміщення:

$$n_{\text{др (вестибюль)}} = \frac{26,89}{7} = 3,8 \text{ шт.} \approx 4 \text{ шт.};$$

$$n_{\text{др (кімната охорони)}} = \frac{9,25}{7} = 1,32 \text{ шт.} \approx 1 \text{ шт.};$$

$$n_{\text{др (кабінет 1)}} = \frac{9,25}{7} = 1,32 \text{ шт.} \approx 1 \text{ шт.};$$

$$n_{\text{др (маркетингова зала)}} = \frac{45,39}{7} = 6,5 \text{ шт.} \approx 7 \text{ шт.};$$

$$n_{\text{др (коридор)}} = \frac{13,35}{7} = 1,9 \text{ шт.} \approx 2 \text{ шт.};$$

$$n_{\text{др (кабінет 2)}} = \frac{9,25}{7} = 1,32 \text{ шт.} \approx 1 \text{ шт.};$$

$$n_{\text{др (кабінет директора)}} = \frac{17,02}{7} = 2,4 \text{ шт.} \approx 2 \text{ шт.};$$

$$n_{\text{др (туалет 1)}} = \frac{3,6}{7} \approx 1 \text{ шт.};$$

$$n_{\text{др (туалет 2)}} = \frac{3,06}{7} \approx 1 \text{ шт.};$$

$$n_{\text{др (кабінет 3)}} = \frac{13,77}{7} = 1,9 \text{ шт.} \approx 2 \text{ шт.};$$

$$n_{\text{др (кабінет 4)}} = \frac{31,62}{7} = 4,5 \text{ шт.} \approx 5 \text{ шт.};$$

$$n_{\text{др (кухня)}} = \frac{3,4}{7} \approx 1 \text{ шт.}$$

3.5 Вибір типу зв'язку між елементами системи автоматизації енергоспоживання освітлювальних пристроїв

На даний час є кілька способів організації зв'язку між елементами розроблюваної нами системи автоматизації енергоспоживання освітлювальних пристроїв, а саме: лампами, датчиками освітленості та руху. Їх можна умовно поділити на два типи: дротові та бездротові. Кожен з цих типів має свої переваги і недоліки, тому вибір способу з'єднання залежить від характеристик та призначення системи.

До основних дротових типів зв'язку між елементами автоматизованої системи освітлення належить стандарт RS-485 (див. рис. 3.6), який є стандартом передачі даних через двопровідний напівдуплексний багатоточковий послідовний канал зв'язку, що використовує виту пару. Мережа RS-485 може бути налаштована двома способами: "двопровідним" або "чотирипровідним". У "двопровідній" мережі передавач і приймач кожного пристрою з'єднані в рамках однієї вити пари. У "чотирипровідній" – мережах є один головний порт з передавачем, який підключений до кожного з "ведених" приймачів на одній витій парі, тоді як всі "підлеглі" передавачі з'єднані з "ведучим" приймачем на другій витій парі. У будь-якій конфігурації пристрої можуть бути адресовані, що дозволяє кожному вузлу комунікувати самостійно.



Рисунок 3.6 – Провідне з'єднання стандарту RS-485

Серед переваг дротового з'єднання варто виділити захищеність від шумів, високу завадостійкість, меншу кількість помилок під час передачі сигналу, а також більшу швидкість, стабільність і безпеку роботи. Проте, недоліком систем, що використовують дротове з'єднання, є їхня неефективність при передачі сигналу на великі відстані, оскільки через внутрішній опір кабелю сигнал може частково втрачатися.

Бездротове з'єднання в системах автоматизованої системи освітлення можна реалізувати за допомогою радіозв'язку. Для організації радіозв'язку між елементами системи адаптивного освітлення найкраще використовувати радіомодуль nRF24L01 або його аналоги. nRF24L01 є однокіповим радіоприймачем, що працює в діапазоні частот ISM 2,4 - 2,5 ГГц (див. рис. 3.7).

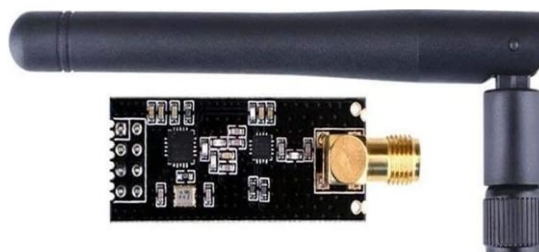


Рисунок 3.7 – Радіо модуль nRF24L01

Трансивер містить повністю інтегрований синтезатор частоти, підсилювач потужності, кристалічний генератор, демодулятор, модулятор та

вдосконалений механізм протоколу ShockBurst. Вихідна потужність, частотні канали та налаштування протоколу можна легко програмувати через інтерфейс SPI. Вбудовані режими сну та очікування забезпечують ефективну економію енергії. Завдяки цьому радіоприймачу можна створити радіомережу будь-якої архітектури, включаючи шину, зірку та mesh.

Головною перевагою бездротового з'єднання є легкість підключення та монтажу елементів системи, оскільки вони можуть бути розташовані на великій відстані один від одного і підтримувати зв'язок без втрат сигналу, які можуть виникнути через опір проводів.

Розглянувши наведену вище інформацію в цьому підрозділі, оберемо для реалізації нашої системи автоматизації освітлення в офісі бездротове з'єднання на основі модуля nRF24L01. Це обґрунтовано тим, що датчики руху та освітленості в нашій системі будуть розташовані в різних кімнатах квартири, що робить переваги бездротового рішення більш актуальними в нашому випадку порівняно з дротовими варіантами.

3.6 Структурна схема та алгоритм роботи системи автоматизації енергоспоживання освітлювальних пристроїв кімнат офісного приміщення

Систему автоматизації енергоспоживання освітлювальних пристроїв кімнат офісного приміщення, що буде реалізована в цьому дипломному проекті, можна умовно розділити на два рівні: верхній та нижній.

На нижньому рівні розташовуватимуться датчики, які використовуються в системі, а також виконавчий модуль – звичайне електромеханічне реле.

Датчик освітлення LM393 є простим фоторезисторним пристроєм, що має як аналогові, так і цифрові виходи. Цифровий вихід оснащений регулювальним потенціометром, який дозволяє налаштувати рівень тригерного освітлення. Паралельно з цим працює датчик руху HC SR501, який активується при наявності людини в зоні освітлення. Дані з обох

датчиків передаються за допомогою радіомодулів до центральної системи освітлення, де приймається рішення щодо подальшого управління освітленням у офісному приміщенні.

Щодо прототипу плати керування в нашій системі автоматизації енергоспоживання освітлювальних пристроїв, то вони детально описаного в підрозділі 1.3 даного дипломного проєкту, і для реалізації нашої системи ми оберемо плату Arduino Nano. Вона має простий і доступний інтерфейс, легко піддається програмуванню і є багатофункціональною в порівнянні з іншими варіантами.

На рисунку 3.8 зображено фрагмент структурної схеми системи автоматизації енергоспоживання освітлювальних пристроїв кімнат нашого офісного приміщення, яка розробляється в рамках цього дипломного проєкту. Повна структурна схема представлена на першій сторінці графічної частини проєкту.

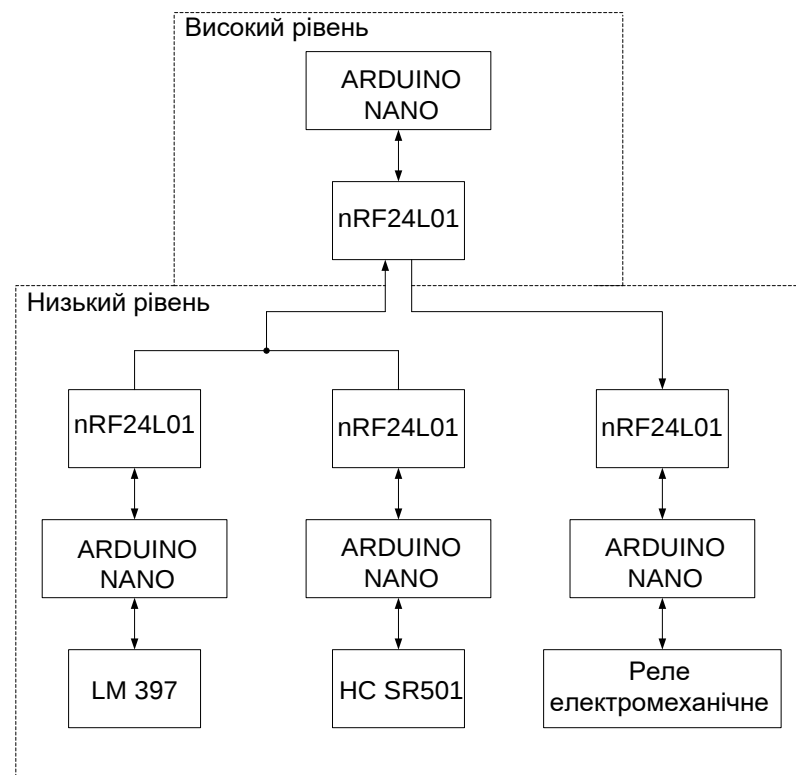


Рисунок 3.8 – Фрагмент структурної схеми системи автоматизації енергоспоживання освітлювальних пристроїв кімнат офісного приміщення

На рисунку 3.9 наведено алгоритм роботи розробленої системи автоматизації енергоспоживання освітлювальних пристроїв кімнат офісного приміщення, яке розглядається в даному дипломному проєкті.

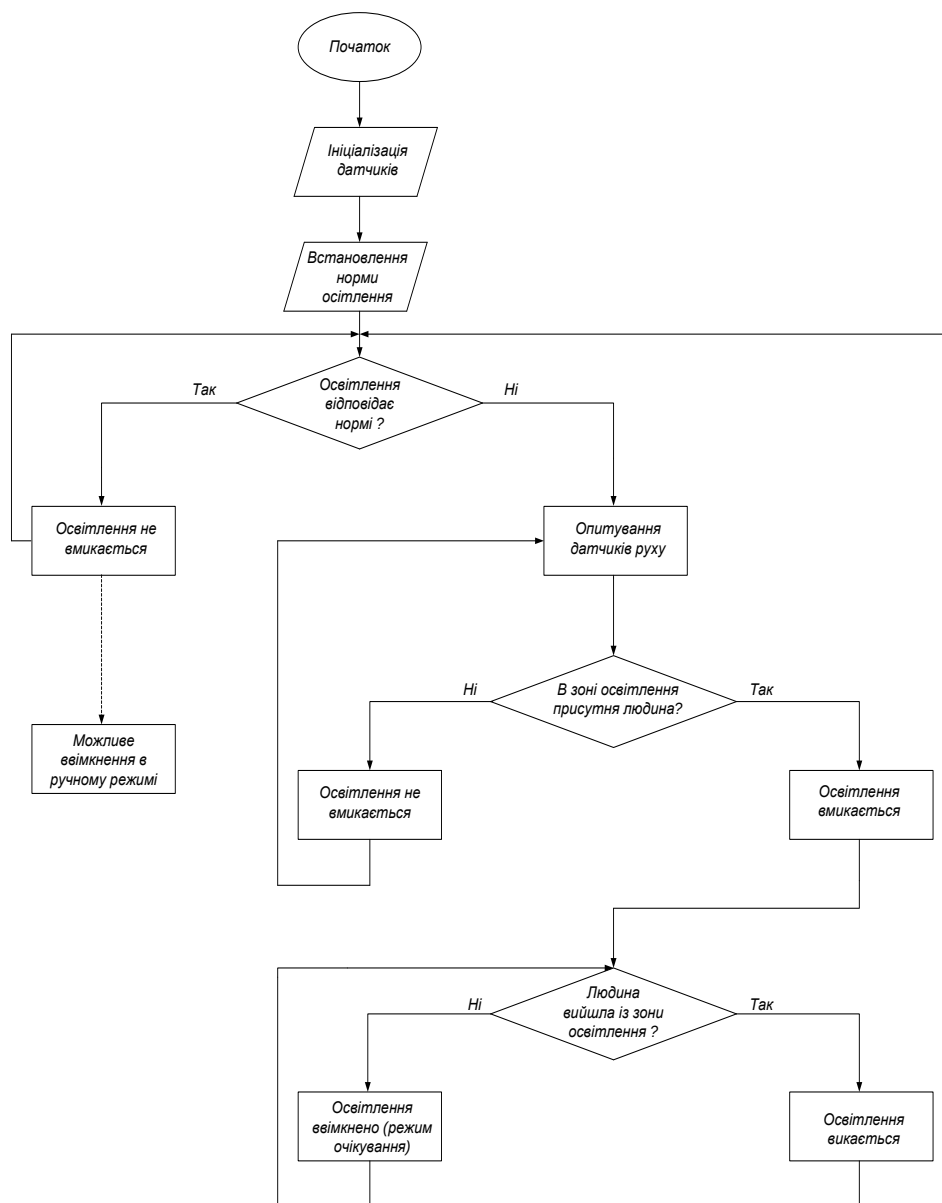


Рисунок 3.9 – Алгоритм роботи розробленої системи автоматизації енергоспоживання освітлювальних пристроїв кімнат офісного приміщення

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок капітальних затрат на реалізацію розробленої системи

У цьому дипломному проєкті була створена система автоматизації енергоспоживання пристроїв, які виконують роль освітлення в офісному приміщенні. У зв'язку з цим потрібно визначити капітальні та експлуатаційні витрати на впровадження такої системи, а також розрахувати термін її окупності і оцінити економічну ефективність.

Економічна оцінка є надзвичайно важливою, оскільки включає як вартість всього обладнання, так і витрати на обслуговування елементів системи протягом усього терміну її експлуатації, що становить 15 років. Витрати на обслуговування елементів системи нашої системи автоматизації освітлювальних пристроїв будемо визначати на рівні 1% від вартості устаткування.

Під час проведення кошторисного аналізу, перш за все, слід визначити загальну річну вартість системи адаптивного освітлення – ТАС (Total Annualized Cost) за допомогою наступної формули:

$$TAC = \frac{TLCC}{CPWF}, \quad (4.1)$$

де:

TLCC (Total Life Cycle Cost) – загальна вартість розробленої системи;

CPWF (Cumulative Present Worth Factor) – сукупний фактор реальної вартості розробленої системи.

Капітальні інвестиції – це фінансові ресурси, призначені для створення та придбання основних фондів і нематеріальних активів, які підлягають

					ДП.141.042.019.ПЗ		
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА		
Розробив		Канавський Н.О.					
Перевір		Антипчук Б.О.					
Н. Контр.		Антипчук Б.О.					
Затв.		Лавріщев О.О.			ЖАТФК, Гр. Е-42		
					Літ.	Арк.	Аркушів
					У	66	88

амортизації. Вони є необхідними для реалізації запропонованої системи та є одним із ключових показників, що використовуються для її економічної оцінки ефективності. У таблиці 4.1 наведені всі капітальні витрати, пов'язані з реалізацією розробленої системи автоматизації енергоспоживання пристроїв, які виконують роль освітлення в офісному приміщенні, представленої в цьому дипломному проєкті.

Таблиця 4.1 – Капітальні витрати проєкту

№	Назва технічних матеріалів	кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Точкові LED-світильники				
1	SUNLED 260 Лм	36	250	9000
2	BIT S 650 Лм	24	556	13344
3	NOWODVORSKI 320 Лм	45	330	14850
4	BRILLE 100 Лм	22	200	4400
5	NOWODVORSKI 1000 Лм	12	870	10440
6	AZZARDO 600 Лм	20	700	14000
7	HOROS ELECTRIC 100 Лм	4	210	840
8	HOROS ELECTRIC 150 Лм	4	240	960
9	NOWODVORSKI 750 Лм	15	770	11550
10	NOWODVORSKI 500 Лм	42	480	20160
11	LEZARD PANEL 500 Лм	4	600	2400
Датчики освітленості				
12	LM393	9	110	990
Датчики руху				
13	HC SR501	28	60	1680
Радіо модулі				
14	nRF24L01	38	31,8	1208,4
Прототипи плат керування				
15	Arduino Nano	38	125,4	4765,2
Електромагнітне реле				
16	TriniX TRX-WC01(WiFi)	28	150	4200
Всього по системі:				
Всього загальна вартість				102187,6

Формула для визначення вартості монтажних-налагоджувальних робіт нашої розробленої системи:

$$K_{MH} = \sum (C_i \cdot a \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{CM} \cdot K_{PP}, \quad (4.2)$$

де:

$Ч_i$ – чисельність працівників i -го розряду, необхідних для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт;

a – годинна тарифна ставка i -го розряду, грн;

t_i – час, необхідний для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт, год.;

$K_D = 1,1 \dots 1,5$ – коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{CM} = 1,22$ – коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальні заходи;

$K_{PP} = 1,1 \dots 1,5$ – коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних (налагоджувальних) робіт.

Вартість монтажних та налагоджувальних робіт буде визначена на основі основних договірних цін і тарифів промислової групи компаній «Xilinx», що спеціалізується на монтажі та налаштуванні систем освітлення. Таким чином, ми отримаємо:

$$K_{MH} = 2 \cdot 247,28 \cdot 24 \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,1 = 17521,7 \text{ грн.}$$

Витрати на транспортування розраховуються відповідно до тарифів компанії ТОВ «Car and Bus», враховуючи вагу вантажу та відстань до складів постачальника. За підрахунками перевізника, доставка 6 вантажних місць загальною вагою до 500 кг обійдеться в 2000 грн.

І так, визначаємо капітальні витрати на систему автоматизації енергоспоживання пристроїв, які виконують роль освітлення в офісному приміщенні, яке розглядається в даному дипломному проєкті за формулою:

$$K = K_{OB} + K_{TP} + K_{MH}, \quad (4.3)$$

де:

K_{OB} – вартість устаткування розробленої системи по зведенню витрат (без ПДВ), грн.;

K_{TP} – транспортно-заготівельні й складські витрати на розроблену систему, грн.;

K_{MH} – витрати на монтаж і налагодження устаткування розробленої системи, грн.

Отримаємо:

$$K = 102187,6 + 2000 + 17521,7 = 121709,3 \text{ грн.}$$

Як бачимо, вартість капітальних витрат на нашу розроблену систему автоматизації енергоспоживання пристроїв, які виконують роль освітлення в офісному приміщенні становить 121709,3 грн.

4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на реалізацію розробленої системи

Експлуатаційні витрати – це регулярні витрати на експлуатацію та обслуговування проектного об'єкта протягом визначеного періоду, які виражаються в грошовому еквіваленті. Основні статті експлуатаційних витрат для електротехнічного обладнання включають:

- а) амортизаційні відрахування (C_a);
- б) вартість спожитої електроенергії (C_e);
- в) основна й додаткова заробітна плата обслуговуючого персоналу та відрахування на соціальні заходи (C_3);
- г) витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування (C_T);
- д) інші витрати ($C_{ін}$).

Таким чином річні експлуатаційні витрати по розробленій системі автоматизації енергоспоживання пристроїв, які виконують роль освітлення в нашому офісному приміщенні становлять:

$$C = C_a + C_e + C_3 + C_T + C_{\text{ін}}. \quad (4.4)$$

Система автоматизації освітлення, розроблена в рамках цього проекту, є повністю автономною і не потребує постійної присутності оператора чи обслуговуючого персоналу. Усі заплановані роботи з обслуговування виконуватиме електротехнічна служба компанії, якій належить офісне приміщення. Тому статті витрат C_3 та $C_{\text{ін}}$ приймаємо рівними нулю.

Амортизаційні відрахування розраховуються на основі тривалості використання розробленої системи, очікуваного економічного прибутку, її технічних характеристик, фізичного зносу, а також інших чинників, які можуть вплинути на можливість експлуатації. Термін ефективного використання впроваджуваного обладнання нашої системи становить 15 років. Норма амортизації при застосуванні прямолінійного методу залишається сталою протягом усього амортизаційного періоду і може бути визначена за відповідною формулою:

$$H_a = \frac{K}{K \cdot T_n} \cdot 100\%, \quad (4.5)$$

де:

T_n – час якісного використання розробленої системи (амортизаційний період);

K – капітальні витрати на розроблену систему, грн.

Отже, отримаємо:

$$H_a = \frac{121709,3}{121709,3 \cdot 15} \cdot 100\% = 6,7 \, \%$$

Річні амортизаційні відрахування для розробленої системи можна визначати за формулою:

					ДП.141.042.019.ПЗ	Аркуш
						70
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_a = \frac{K \cdot H_a}{100}, \quad (4.6)$$

де:

K – капітальні витрати на розроблену систему, грн.

H_a – норма амортизації, %.

І так, матимемо:

$$C_a = \frac{121709,3 \cdot 6,7}{100} = 8154,5 \text{ грн.}$$

Наступним кроком визначимо річні витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт системи автоматизації освітлення, яка розроблена в рамках цього проекту. Ці витрати охоплюють витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату працівників, які займаються ремонтом, і становлять 1% від загальної суми капітальних витрат:

$$C_T = 0,01 \cdot K, \quad (4.7)$$

де:

C_T – витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування розробленої системи, грн.;

K – капітальні витрати на розроблену систему, грн.

В результаті будемо мати, що:

$$C_T = 0,01 \cdot 121709,3 = 1217,1 \text{ грн.}$$

Тепер визначимо річні експлуатаційні витрати по розробленій системі автоматизації енергоспоживання пристроїв, які виконують роль освітлення в нашому офісному приміщенні за виразом 4.4, вони будуть становити:

					ДП.141.042.019.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

$$C = 8154,5 + 0 + 0 + 1217,1 = 9371,6 \text{ грн.}$$

4.3 Розрахунок терміну окупності розробленої системи

У цьому підрозділі ми проведемо оцінку доцільності впровадження розробленої нами системи автоматизації енергоспоживання пристроїв, які виконують роль освітлення, визначивши її термін окупності. Для цього порівнюємо споживання електричної енергії нашої автоматизованою системою з традиційною стандартною системою освітлення на лампах розжарення, яка була встановлена раніше в офісі. Порівняльні характеристики обох типів освітлення наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Порівняльна характеристика типів систем освітлення

Типи системи освітлення	Стандартна система освітлення	Розроблена система автоматизації освітлення
Тип освітлювальної лампи	Лампа розжарення	LED-лампа
Кількість світильників	80 шт.	224 шт.
Кількість ламп	215 шт.	291 шт.
Режим роботи (годин на добу)	8 год./доб.	8 год./доб.
Режим роботи (годин на добу) за наявності адаптивного керування	-----	2 – 4 год./доб.
Режим роботи (днів)	365 днів	365 днів
Середня потужність лампи системи освітлення, Вт	75 Вт	5 Вт
Потужність системи освітлення, кВт	16,1	1,45
Тариф на електроенергію грн/кВт·год.	4,32 грн/кВт·год.	4,32 грн/кВт·год.

Спочатку розглянемо економічний прибуток, який ми можемо отримати, замінивши стандартну систему освітлення на нашу розроблену автоматизовану систему керування освітленням в офісі, яка ж до того

спроектована на базі LED-світильників. Для цього проведемо розрахунок електричних потужностей, споживаних обома системами протягом доби:

$$P_{\text{СОдоба}} = P_{\text{СО}} \cdot n_{\text{год}} , \quad (4.8)$$

де:

$P_{\text{СОдоба}}$ – електрична потужність споживання системи освітлення за добу, кВт/год;

$P_{\text{СО}}$ – електрична потужність споживання системи освітлення, кВт;

$n_{\text{год}}$ – кількість робочих годин на добу, год.

Отримаємо:

$$P_{\text{СОдоба стандарт. сис.}} = 16,1 \cdot 8 = 128,8 \text{ кВт} ;$$

$$P_{\text{СОдоба розроб. сис.}} = 1,45 \cdot 2 = 2,9 \text{ кВт} .$$

Тепер визначимо потужність, яку споживають обидві системи за рік:

$$P_{\text{СОрік}} = P_{\text{СОдоба}} \cdot n_{\text{роб.днів}} , \quad (4.9)$$

де:

$P_{\text{СОрік}}$ – електрична потужність споживання системи освітлення за рік, кВт/год;

$P_{\text{СОдоба}}$ – електрична потужність споживання системи освітлення за добу, кВт/год;

$n_{\text{роб.днів}}$ – кількість робочих днів системи освітлення на рік.

Отримаємо:

$$P_{\text{СОрік_станд. сис.}} = 128,8 \cdot 365 = 47012 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$P_{\text{COрік_розроб. сис.}} = 2,9 \cdot 365 = 1058,5 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (4.9)$$

Далі визначимо суму в грн. за рік, яку необхідно витрати на оплату споживаної електричної енергії обох систем:

$$M_{\text{т.СО}} = E_{\text{о.п.}} \cdot P_{\text{COрік}}, \quad (4.10)$$

де:

$M_{\text{т.СО}}$ – річні витрати на споживання електроенергії при використанні системи освітлення, грн.;

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

Будемо мати, що:

$$M_{\text{т.СО стандарт. сис.}} = 4,32 \cdot 47012 = 203091,8 \text{ грн.};$$

$$M_{\text{т.СО_розроб. сис.}} = 4,32 \cdot 1058,5 = 4572,7 \text{ грн.}$$

Тоді, прибуток від використання розробленої нами системи автоматизації енергоспоживання пристроїв, які виконують роль освітлення буде становити:

$$Y = M_{\text{т.СО стандарт. сис.}} - M_{\text{т.СО_розроб. сис.}} \quad (4.11)$$

Отримаємо:

$$Y = 203091,8 - 4572,7 = 198519,1 \text{ грн.}$$

Тепер розрахуємо термін окупності нашої розробленої системи автоматизації енергоспоживання пристроїв, які виконують роль освітлення в офісному приміщенні за виразом:

					ДП.141.042.019.ПЗ	Аркуш
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\text{енергозберіг. сис.}} = K/Y , \quad (4.12)$$

де:

K – капітальні витрати на розроблену систему, грн.

Y – річний прибуток від впровадження та використання розробленої системи, грн.

Матимемо, що:

$$T_{\text{енергозберіг. сис.}} = \frac{121709,3}{198519,1} = 0,6 \text{ роки .}$$

					ДП.141.042.019.ПЗ	Аркуш
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Заходи безпеки в електроустановках напругою до 1000 В

До роботи з електроустановками допускаються лише ті особи, які пройшли відповідне навчання, мають необхідну кваліфікацію та групу з електробезпеки. Перед початком робіт потрібно провести інструктаж з безпеки. Використовуйте лише справні та перевірені засоби захисту (діелектричні рукавички, взуття, килимки, ізолювальні штанги, покажчики напруги тощо) та тільки ізольований інструмент. Перед початком робіт необхідно оглянути робоче місце та обладнання на предмет наявності пошкоджень.

Роботи в електроустановках мають виконуватися щонайменше двома людьми. Одна з них повинна постійно контролювати безпеку виконання робіт. У разі виникнення небезпечної ситуації необхідно терміново зупинити роботи та вжити заходів для усунення загрози.

Під час обслуговування електричних установок з напругою до 1000 В слід здійснювати профілактичні ремонти, перевірку ізоляції електричних машин, апаратів, кабелів, внутрішніх електромереж, а також налаштування електроприводів, релейного захисту та виконання інших профілактичних заходів. Крім того, до цього процесу входять невеликі роботи, спрямовані на запобігання та усунення аварій і незначних несправностей.

До електричних установок або їх складових, що знаходяться під впливом електричної напруги, також належать підготовлені до експлуатації основні струмопровідні елементи електричної установки, а також ті частини, які можуть у будь-який момент опинитися під напругою.

					ДП.141.042.019.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Канавський Н.О.			5 ОХОРОНА ПРАЦІ			
Перевір		Антипчук Б.О.						
Н. Контр.		Антипчук Б.О.						
Затв.		Лавріщев О.О.						
						Лім.	Арк.	Аркушів
						У	76	88
						ЖАТФК, Гр. Е-42		

Роботи, які проводяться в активних електричних установках, з точки зору засобів безпеки, можна класифікувати на три категорії:

- роботи, для виконання яких потрібно зняти напругу;
- роботи, для виконання яких не потрібно зняття напруги на струмопровідних частинах;
- роботи виконуються без зняття напруги на відстані від струмопровідних частин, що перебувають під напругою.

Роботи, що передбачають зняття напруги, виконуються в електроустановках, де з усіх струмопровідних частин напруга відключена.

Роботи, що виконуються без зняття напруги на струмопровідних елементах, включають заходи технічного або організаційного характеру, спрямовані на запобігання небезпечному наближенню до струмопровідних частин. Також до таких робіт належать операції, які виконуються з використанням ізолюючих захисних засобів та інструментів.

Роботи, що виконуються без зняття напруги і на відстані від струмопровідних частин, які перебувають під напругою, є такими, що можуть здійснюватися за умови повного виключення випадкової можливості наближення або використання ремонтного обладнання на небезпечній відстані до струмопровідних частин. У цьому випадку не потрібно вживати організаційних і технічних заходів для запобігання такому наближенню.

Перед початком ремонтних або налагоджувальних робіт, а також під час їх виконання, відповідальні особи та виконавці повинні дотримуватись технічних і організаційних заходів для забезпечення безпеки персоналу. Зокрема, до технічних заходів належить відключення установки з виконанням дій, що виключають можливість помилкової подачі напруги до місця проведення робіт, встановлення огорож з вивішуванням спеціальних плакатів, перевірка відсутності напруги та забезпечення заземлення.

У електроустановках з напругою до 1000 В відключення має проводитися так, щоб частина електроустановки або електроустаткування, призначена для виконання робіт, була з усіх боків ізольована комутаційними

апаратами або знятими запобіжниками від струмопровідних частин, які можуть бути під напругою. У таких установках для запобігання подачі напруги до місця виконання робіт через ефект трансформації необхідно відключити всі пов'язані з електроустаткуванням, що готується до ремонту, силові, вимірювальні та інші спеціальні трансформатори з обох сторін — як високої, так і низької напруги. Струмопровідні частини, на яких планується виконання робіт, а також ті, що можуть бути доступні для дотику під час робіт, повинні бути відключені. Струмопровідні частини, доступні для дотику, можна не відключати, якщо їх можна захистити спеціальними ізолюючими накладками.

Після перевірки на відсутність напруги, необхідно заземлити відключені частини за допомогою переносного заземлення для захисту працівників від можливого ураження електричним струмом. У випадках, коли конструкція електричних установок не дозволяє застосувати заземлення, при підготовці робочого місця слід вжити додаткові заходи безпеки.

- замикання приводу роз'єднувача на замок;
- огороження ножів або верхніх контактів роз'єднувачів гумовими ковпаками або жорсткими накладками з спеціального ізоляційного матеріалу.

Після завершення робіт необхідно перевірити коректність з'єднання провідників та відсутність сторонніх предметів. Включати напругу слід лише після підтвердження готовності електроустановки до експлуатації. Дотримання всіх заходів безпеки є обов'язковим для всіх, хто працює з електроустановками напругою до 1000 В. Суворе дотримання правил безпеки є запорукою збереження життя та здоров'я.

5.2 Перша допомога при ураженні електричним струмом

Широке використання електроенергії потребує дотримання правил її безпечного використання, оскільки порушення цих норм може призвести до серйозних травм або навіть до летальних наслідків. Встановлено, що при напрузі до 42 В електричний струм, що проходить через тіло людини, вважається безпечним. Однак напруга, що перевищує 50 В, може викликати теплові та електролітичні ефекти.

Найчастіше ураження електричним струмом трапляється через недотримання правил техніки безпеки під час роботи з електроприладами, як у домашніх умовах, так і на виробництві. Небезпека ураження струмом може підстерігати людину як вдома, так і на вулиці. Виявити пошкоджений або оголений провід, що знаходиться під напругою, дуже складно – ні за звуком, ні за запахом, ні візуально провід під напругою не відрізняється від того, що не має електричного живлення.

Особа, яка піддається впливу електричного струму, не здатна покликати на допомогу та самостійно звільнитися від джерела струму. Контакт зі струмопровідними частинами зазвичай викликає судомні м'язів, що обмежують можливість рухатися або говорити. Зазвичай про небезпеку свідчить раптове падіння людини на вулиці або її відкидання від джерела струму невидимою силою, а також раптова втрата свідомості, судомні, виражене мимовільне скорочення м'язів і опіки на тілі з чітко окресленими краями.

При ураженні електричним струмом першочергово необхідно звільнити потерпілого від струмопровідних частин обладнання. Слід швидко відключити ту частину електрообладнання, до якої доторкається людина. Будь-яка затримка у наданні допомоги може призвести до загибелі особи, яка піддається дії струму. Для звільнення потерпілого від струмопровідних частин або проводів потрібно вимкнути струм, використовуючи сухий одяг, палицю, дошку, шапку, сухі рукавиці, рукав одягу або діелектричні рукавиці.

Провідники слід перерізати інструментом з ізольованими ручками або перерубати сокирою з дерев'яним сухим топорищем.

Потерпілого можна відтягнути від струмопровідних частин, використовуючи сухий одяг. При цьому особа, яка надає допомогу, повинна уникати контакту з навколишніми металевими предметами та відкритими частинами тіла потерпілого. Відтягуючи потерпілого за ноги, не слід торкатися його взуття, оскільки воно може бути вологим і стати провідником електричного струму. Той, хто надає допомогу, повинен одягнути діелектричні рукавиці або обмотати руки шарфом, а також натягнути на них рукав піджака або пальта. Також можна ізолювати себе, ставши на гумовий килимок, суху дошку тощо.

Після того, як потерпілого звільнили від дії електричного струму, необхідно терміново надати йому першу медичну допомогу. Слід негайно викликати службу екстреної медичної допомоги. Якщо людина не подає ознак життя, потрібно розпочати серцево-легеневу реанімацію.

- непрямий масаж серця;
- штучне дихання.

Якісний непрямий масаж серця (виконуючи натискання в нижній частині груднини) передбачає натискання на глибину не менше 5 см і не більше 6 см на грудну клітку зі швидкістю 100–120 натисків на хвилину, з мінімальною кількістю перерв. При цьому важливо, щоб грудна клітка повністю розправлялася після кожного стиснення; не слід спиратися на груди (грудну клітку); натискання потрібно виконувати на твердій поверхні.

Штучне дихання – це метод серцево-легеневої реанімації, що включає чергування 30 натискань на грудну клітку та 2 вдихи. Якщо немає можливості провести штучну вентиляцію легень, слід продовжувати безперервно натискати на грудну клітку.

Своєчасне та якісне виконання цих дій може врятувати життя людині, яка отримала електричний удар.

ВИСНОВКИ

У цьому дипломному проєкті була розроблена система автоматизації енергоспоживання пристроїв, які виконують роль освітлення в заданому офісному приміщенні. Під час виконання проєкту було проведено детальний аналіз існуючих технічних рішень та сучасних технологій, які можуть бути використані для реалізації такої системи. Також було проаналізовано різні типи джерел світла, які б доцільно було використати в нашій розроблюваній системі, в результаті чого було виявлено, що LED-лампи мають найкращі енергетичні та світлотехнічні характеристики в порівнянні з іншими типами ламп, а також надають більше можливостей для регулювання своєї потужності та, як наслідок, свого світлового потоку, що є вкрай важливою опцією нашої системи, бо зменшення інтенсивності світлового випромінювання ламп, залежно від загально рівня освітленості кімнат зменшує енергоспоживання всієї системи в цілому.

Також у дипломному проєкті було повністю виконано світлотехнічний розрахунок системи автоматизації енергоспоживання освітлювальних пристроїв. У процесі цього розрахунку було визначено необхідну кількість LED-світильників, їх типи та моделі відповідно до встановлених значень світлового потоку для кожної кімнати офісного приміщення. Також було визначено кількість, типи та моделі датчиків освітленості та руху, обрано тип зв'язку між елементами системи, обґрунтовано вибір прототипу плати керування системою освітлення на основі мікроконтролера та розроблено алгоритм роботи всієї системи.

Термін окупності розробленої системи складає 0,6 роки. Це свідчить про економічну вигоду системи при її впровадженні та використанні.

					ДП.141.042.019.ПЗ						
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата							
Розробив	Канавський Н.О.				ВИСНОВКИ				Лім.	Арк.	Аркушів
Перевір	Антипчук Б.О.								У	81	88
									ЖАТФК, Гр. Е-42		
Н. Контр.	Антипчук Б.О.										
Затв.	Лавріщев О.О.										

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

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

					ДП.141.042.019.ПЗ							
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата								
Розробив		Канавський Н.О.			СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ					Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір		Антипчук Б.О.								У	82	88
										ЖАТФК, Гр. Е-42		
Н. Контр.		Антипчук Б.О.										
Затв.		Лавріщев О.О.										

9. Довідникова книга для проектування електричного освітлення. 2-е вид. / Г. М. Кноррінг, Н. М. Фадін, В. Н. Сидоров. Спб : Енергоатомвид, 1992. 448 с.
10. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб. / О. І. Соловей, В. П. Розен, П. Г. Плешков [та ін.] ; М-во освіти і науки України, Кіровоград. нац. техн. ун-т. Черкаси : Чабаненко Ю., 2015. 316 с.
11. Пилипчук Р. В. Проблема енергозбереження в освітлювальних установках / Р. В. Пилипчук, Р. Ю. Яремчук. Світлолюкс. 2003. № 2. С. 10-13.
12. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. ДСН 3.3.6.042-99. Постанова Гол. Держ. сан. лікаря України від 01.12.1999 № 42
13. Правила улаштування електроустановок. ПУЕ. Розділ 6: Електричне освітлення. Київ : Мін-во енергетики та вугільної пром. України, 2017. 617 с.
14. Основи охорони праці : підручник для студентів вищ. навч. закладів / за ред. М. П. Гандзюка. К. : Каравела, 2003. 408 с.
15. Березюк О. В., Є. Г. Креготень. Перспективність використання світлодіодних ламп для освітлення виробничих приміщень. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2018/paper/3416>

Познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	<i>Напівпровідникові елементи</i>		
VD1, VD4	світлодіод «LED»	2	червоний
VD2,VD5	світлодіод «LED»	2	зелений
VD3	SD101CWS	1	діод Шотткі
VD6	світлодіод «LED»	1	помаранчевий
	<i>Інтегральні мікросхеми</i>		
IC1	Atmega328	1	
IC2	CH340G	1	
IC3	NCP1117ST25T3G	1	
IC4	LM393	1	
	<i>Конденсатори</i>		
C1,C7	4,7 мкФ	2	полярний
C2 – C6	0,1 мкФ	5	
C8, C9	0,1 мкФ	2	
	<i>Резистори</i>		
R1, R2	330 Ом	2	
R3 – R5	1 кОм	3	
R6, R10	10 кОм	2	
R8	10 кОм	1	змінний
R9	47 кОм	1	фоторезистор
R7, R11	10 кОм	2	
R12	10 кОм	1	
	<i>Кварцові резонатори</i>		
CR1, CR2	16 МГц	2	

					ДП.141.042.019.ПЗ					
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата						
Розробив	Канавський Н.О.				Схема електрична принципова. Підключення датчика освітленості LM393 до контролера Arduino Nano. (ДОДАТОК А)			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір	Антипчук Б.О.							У	84	88
								ЖАТФК, Гр. Е-42		
Н. Контр.	Антипчук Б.О.									
Затв.	Лавріщев О.О.									

Познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	<i>Напівпровідникові елементи</i>		
VD1, VD4	світлодіод «LED»	2	червоний
VD2	світлодіод «LED»	1	зелений
VD3	SD101CWS	1	діод Шотткі
VD5	1N4007	1	
	<i>Інтегральні мікросхеми</i>		
IC1	Atmega328	1	
IC2	CH340G	1	
IC3	NCP1117ST25T3G	1	
IC4	BISS0001	1	
IC5	7133-1	1	
	<i>Конденсатори</i>		
C1, C7	4,7 мкФ	2	полярний
C2 – C6	0,1 мкФ	5	
C8	22 мкФ	1	полярний
C9 – C11	100 нФ	3	
C12	1000 нФ	1	
C13, C15	100 нФ	2	
C14, C17	47 мкФ	2	полярний
C16	0,1 мкФ	1	
C19	100 нФ	1	
	<i>Кварцові резонатори</i>		
CR1, CR2	16 МГц	2	
	<i>Резистори</i>		
R1, R2	330 Ом	2	
R3 – R5	1 кОм	3	
R6, R10	1 МОм	2	
R7, R12	1 МОм	2	змінний

					ДП.141.042.019.ПЗ				
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата					
Розробив	Канавський Н.О.				Схема електрична принципова. Підключення датчика руху HC SR501 до контролера Arduino Nano. (ДОДАТОК Б)		Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір	Антипчук Б.О.						У	85	88
Н. Контр.	Антипчук Б.О.						ЖАТФК, Гр. Е-42		
Затв.	Лавріщев О.О.								

[illegible]

Познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	<i>Напівпровідникові елементи</i>		
VD1, VD4	<i>світлодіод «LED»</i>	2	<i>червоний</i>
VD2	<i>світлодіод «LED»</i>	1	<i>зелений</i>
VD3	<i>SD101CWS</i>	1	<i>діод Шотткі</i>
	<i>Інтегральні мікросхеми</i>		
IC1	<i>Atmega328</i>	1	
IC2	<i>CH340G</i>	1	
IC3	<i>NCP1117ST25T3G</i>	1	
IC4	<i>nRF24L01</i>	1	
	<i>Конденсатори</i>		
C1, C7	<i>4,7 мкФ</i>	2	<i>полярний</i>
C2 – C6	<i>0,1 мкФ</i>	5	
C8, C9	<i>22 нФ</i>	2	
C10	<i>2,2 нФ</i>	1	
C11	<i>4,7 нФ</i>	1	
C12	<i>2,2 нФ</i>	1	
C13	<i>33 нФ</i>	1	
C14	<i>1 нФ</i>	1	
C15	<i>10 нФ</i>	1	
C16	<i>1,5 нФ</i>	1	
	<i>Котушки індуктивності</i>		
L1	<i>2,7 мГн</i>	1	
L2	<i>8,2 мГн</i>	1	
L3	<i>3,9 мГн</i>	1	
	<i>Резистори</i>		
R1, R2	<i>330 Ом</i>	2	
R3 – R5	<i>1 кОм</i>	3	
R6	<i>1 МОм</i>	1	

[illegible]