

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(назва факультету)

Кафедра електричної інженерії

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Розробка системи керування вуличним освітленням для об'єднаних територіальних громад на базі GSM-модуля**

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕТ-41

спеціальності 141- Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

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

Керівник Оробчук Б. Я.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

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

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль, 2025

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В. П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«27» січня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Микуляку Василю Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка системи керування вуличним освітленням для об'єднаних територіальних громад на базі GSM-модуля

Керівник роботи: Оробчук Богдан Ярославович, к.т.н, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «24» січня 2025 року № 4/7-52

2. Термін подання студентом завершеної роботи: червень 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: Типові схеми вуличного освітлення населених пунктів, річні та добові графіки споживання освітлювальної енергії, схеми керування освітленням

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

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунковий розділ

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

Загальні висновки

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

1. Аналіз систем керування освітленням

2. Структурна схема системи керування освітленням

3. Схема електрична принципова системи керування освітленням

4. Функціональні блоки розробленої системи керування освітленням

5. Конструктивне виконання системи керування освітленням у вигляді промислового зразка

6. Алгоритм роботи розробленої системи керування освітленням

7. Програма керування освітленням на базі розробленого алгоритму

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності та основи хорони праці	Гурик О. Я., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі
завдання

10 квітня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.02.2025	
2	Аналітичний розділ	28.02.2025	
3	Розрахунковий розділ	31.03.2025	
4	Проектно-конструкторський розділ	30.04.2025	
5	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	01.06.2025	
6	Висновки	10.06.2025	
7	Оформлення пояснювальної записки	15.06.2025	
8	Оформлення графічної частини	15.06.2025	

Студент

(підпис)

Микуляк В. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Оробчук Б. Я.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Микуляк Василь Васильович. Розробка системи керування вуличним освітленням для об'єднаних територіальних громад на базі GSM-модуля.

Стор. – 72; рис. - 26; табл. - 4; слайдів - 15; джерел - 39; додатків - 0.

Метою представленої кваліфікаційної роботи є розробка системи керування вуличним освітленням для об'єднаних територіальних громад на базі GSM-модуля та виготовлення експериментального діючого зразка.

В першому розділі кваліфікаційної роботи здійснено аналітичний огляд літератури за тематикою кваліфікаційної роботи, виявлено переваги і недоліки розглянутих систем керування та вибрано оптимальний варіант для вирішення поставленої задачі.

В другому та третьому розділах кваліфікаційної роботи проведено аналіз функцій та типів систем керування освітленням, запропоновано технологію розрахунку зовнішньої освітленості та виконано розрахунок системи вуличного освітлення м. Бучача. Також було розроблено функціональну схему системи керування вуличним освітленням та виготовлено експериментальний діючий зразок системи керування вуличним освітленням на базі GSM-модуля. Для здійснення керування експериментальним діючим зразком було розроблено програмне забезпечення та інтерфейс системи керування вуличним освітленням.

В останньому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто питання охорони праці та безпеки життєдіяльності при роботі з технологічним та електротехнічним устаткуванням, виконано розрахунок захисного заземлення обладнання лабораторії та запропоновано заходи безпеки життєдіяльності в електроустановках.

Ключові слова: система керування, електричне освітлення, електропостачання, інтелектуальна система, GSM-модуль, програмне забезпечення, інтерфейс керування.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	11
1.1 Аналіз тенденцій сучасного світлотехнічного ринку	11
1.2 Аналіз інтелектуальних систем освітлення	12
1.3 Класифікація та комплектація систем керування освітленням	13
1.4 Аналіз функцій та типів систем керування освітленням	17
1.5 Аналіз видів керування вуличним освітленням	18
1.6 Висновки до розділу 1	20
2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	21
2.1 Характеристика систем керування зовнішнього освітлення	21
2.2 Обладнання автоматичних системи керування	24
2.3 Використання баласту в системах керування освітленням	28
2.4 Технологія розрахунку зовнішньої освітленості	30
2.5 Розрахунок системи вуличного освітлення м. Бучача	39
2.6 Висновки до розділу 2	43
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	44
3.1 Підхід до проєктування сучасних систем керування вуличним освітленням	44
3.2 Розробка інтерфейсу системи керування освітленням	46
3.3 Розробка схеми пристрою на базі IDS-контролера	52
3.4 Розробка електричної схеми керування освітленням	56
3.5 Висновки до розділу 3	60
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	61
4.1 Заходи по забезпеченню безпеки при проведенні лабораторних робіт	61
4.2 Розрахунок захисного заземлення обладнання лабораторії	62
4.3 Заходи безпеки життєдіяльності в електроустановках	64
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	67
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	68

ВСТУП

Вуличне освітлення є найважливішою частиною громадської інфраструктури, яке дозволяє створити безпечні умови та видимість у темну пору доби і керування яким здійснюється за допомогою доволі складних системи керування. Розуміння того, як ці системи працюють, може допомогти споживача приймати обґрунтовані рішення щодо необхідності у освітленні, особливо коли є ключовими такі поняття як ефективність та інтелектуальні технології [1].

Вуличне освітлення керується за допомогою комбінованої системи давачів, таймерів та інтелектуальних технологій, які автоматично вмикають та вимикають освітлення в залежності від рівня освітленості, розкладу або ідентифікації руху. Для дистанційного керування та моніторингу за вуличним освітленням сучасні контролери користуються мережами передачі даних, що дозволяє підвищити ефективність та знизити споживання енергії. З ростом сучасних міських технологій надзвичайно гострим питанням є забезпечення ефективними та інтелектуальними системами вуличного освітлення [2].

В сучасних умовах реального часу для керування системою вуличного освітлення доволі активно використовуються інформаційні мережі даних, високочастотні сигнали, а також бездротові технології керування. Такі технології дозволяють замінити стандартні механічні таймери при досить точному керуванні. Наприклад, головна система управління дозволяє регулювати яскравість вуличного освітлення за потоком руху або погодними умовами та забезпечую оптимальне освітлення в будь який час із заощадженням енергії.

Вуличні ліхтарі можуть коригувати свою роботу в залежності від факторів оточуючого середовища. Наприклад, при роботі світлофорів використовуються індукційні петлі, які вбудовують в дорогу з метою виявлення транспортних засобів. Так само багато вуличних ліхтарів укомплектовано

давачами для виявлення змін в рівні освітленості або русі. Ці давачі можуть вмикати і вимикати світло або знижувати його яскравість в залежності від наявної ситуації. Це надає можливість здійснити при необхідності освітлення вулиці без додаткових витрат енергії.

Керування освітленням вулиць населених пунктів зазвичай виконується при допомозі незалежних систем, які побудовані на астрономічному календарі, давачах освітленості або детекторах руху. Такі системи програмують нарізні режими включення світла, зокрема в сутінках та вимкнення його на світанку. Також з допомогою інтелектуальних систем освітлення можна в ручному режимі перевизначати та планувати нестандартні ситуації, наприклад, світло в заданій області може бути затемнене в непіковий час або збільшити яскравість під час певних подій для забезпечення гнучкості і контролю [3].

Вуличне освітлення має надзвичайно важливий фактор у громадській безпеці, оскільки знижує число нещасних випадків та запобігає злочинності. Добре освітлені вулиці дозволяють учасникам руху почуватися більш безпечно, що надзвичайно важливо у міських умовах. Розуміння принципів та систем управління вуличним освітленням допомагає містобудівникам та підприємствам обирати правильні підходи та рішення щодо освітлення для своїх конкретних умов - пожвавленого центру міста або спокійного житлового району.

На даний час сучасні вуличні ліхтарі використовують фотоелементи або світлочутливі давачі, які визначають ступінь темряви. Ці давачі можуть автоматично вмикати світло в сутінках і вимикати його на світанку. Такий автоматизований процес вмикає світло тільки при необхідності, що дозволяє суттєво економити електроенергію. У деяких новітніх системах ці давачі інтегровані в інтелектуальні контролери, які регулюють рівень освітлення в залежності від схеми руху чи погодних умов [4].

Сьогодні використовуються різні типи вуличного освітлення, куди входять світлодіодні, сонячні та традиційні лампи розжарювання і кожний

тип має свою систему керування. Наприклад, світлодіодні лампи зазвичай працюють паралельно з інтелектуальними контролерами, які надають можливість регулювання яскравості, планування та керування ними віддалено. Вуличні ліхтарі на сонячних батареях володіють власними контролерами, які дозволяють керувати зарядкою акумуляторної батареї та освітленням в залежності від інтенсивності сонячного світла. Згадані типи вуличного освітлення мають свої переваги і вибір певної системи керування дозволяє значно вплинути на енергетичну ефективність та експлуатаційні витрати.

Розуміння принципів роботи різних систем керування вуличним освітленням дозволяє допомогти компаніям здійснити оптимізацію своїх рішень щодо освітлення, які зможуть забезпечити ефективність та безпеку. З розвитком новітніх технологій керування вуличним освітленням набуває більшого поширення у освітленні населених пунктів. Основна причина полягає в тому, що керування вуличним освітленням може сприяти перетворенню цих населених пунктів на розумні міста за рахунок регулювання інтенсивності освітлення, моніторингу в реальному часі та швидкого обслуговування. Це не тільки знижує споживання електроенергії та вплив на оточуюче середовище, але також підвищує безпеку учасників у нічний час і дозволяє ефективно керувати та обслуговувати об'єкти вуличного освітлення [5].

Підсумовуючи вище приведений матеріал, можна стверджувати, що питання розробки системи керування вуличним освітленням для населених пунктів є доволі важливим на даний час, а тема кваліфікаційної роботи *«Розробка системи керування вуличним освітленням для об'єднаних територіальних громад на базі GSM-модуля»* - актуальною.

Об'єктом дослідження є система вуличного освітленням об'єднаних територіальних громад.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка ефективної та надійної системи керування вуличним освітленням для об'єднаних територіальних громад з використанням сучасних інформаційних технологій.

Для досягнення поставленої мети під час виконання кваліфікаційної роботи були вирішені наступні завдання:

- проведено аналіз сучасних систем керування вуличним освітленням населених пунктів;
- виявлено переваги і недоліки розглянутих систем керування та вибрано оптимальний варіант для вирішення поставленої задачі;
- проведено аналіз функцій та типів систем керування освітленням;
- запропоновано технологію розрахунку зовнішньої освітленості та виконано розрахунок системи вуличного освітлення м. Бучача;
- розроблено функціональну схему системи керування вуличним освітленням;
- розроблено експериментальний діючий зразок системи керування вуличним освітленням на базі GSM-модуля;
- розроблено програмне забезпечення та інтерфейс системи керування вуличним освітленням.

Наукова новизна кваліфікаційної роботи полягає в запропонованій інтелектуальній системі керування освітленням, яка відповідає вимогам функціональності та енергетичної ефективності, володіє простим використанням і легко адаптується до практичних умов.

Практична новизна кваліфікаційної роботи полягає в розробленій та практично реалізованій інтелектуальній системі керування вуличним освітленням на базі GSM-модуля, що дозволяє забезпечити ефективне використання електричної енергії та створення безпечних умов для учасників дорожнього руху.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз тенденцій сучасного світлотехнічного ринку

Сучасний ринок освітлення характеризується високою конкуренцією і ця тенденція вимагає від виробників пропонувати інноваційні рішення сучасних технологій, впроваджувати функціональні додатки та змінювати цінову політику у сторону зниження вартості.

Одним із головних інноваційних моментів початку цього століття стало впровадження світлодіодних технологій. При високій початковій ціні вони мають найбільшу енергоефективність, екологічність та безпечність з усіх представлених на ринку джерел світла. Конструкція штучних кристалів дозволяє створювати сучасні світильники нестандартного вигляду, які значно відрізняються від звичайних люстр з ріжками та плафонами. Широке поширення діодів в якості оптимальних освітлювальних приладів диктують загальні тенденції сучасного освітлення [6].

Зокрема, отримали поширення інтелектуальні освітлювальні системи та комплекси автоматизації освітлювальних пристроїв, які дозволяють здійснювати віддалене керування та автономну роботу світильниками різних типів. У таких випадках використовуються панелі, пульти або програми на гаджетах. До цієї системи можна віднести такі давачі: руху, сутінкові, димери і ін. Також можна здійснювати налаштування різних варіантів сценаріїв, інтенсивності світлового потоку та оптимізації увімкнення/вимкнення пристроїв. Такі системи на даний час є складовими компонентами концепції «Розумного дому» і дозволяють підтримувати задані режими функціонування - «Гості», «Відпочинок» та запускатися в залежності від часу доби або робочого чи вихідного дня. Вони можуть включати освітлення, а також багато інших функцій в сучасному будинку, наприклад, відкривати і закривати штори, автоматично блокувати двері, різко включати світла при несанкціонованому проникненні в приміщення. Комп'ютерні алгоритми у такому випадку

зав'язуються в один блок управління, з якого здійснюється робота всіх систем. Такі блоки можуть бути кабельними чи бездротовими [7].

У сучасних містах та житлових комплексах вуличне освітлення вже перестало бути частиною благоустрою - воно перетворилося на повноцінний інструмент для інвестицій на тривалий термін. Вуличне світло дозволяє сформувати безпечний простір, підвищити цінність об'єкта, впливати на сприйняття території. Але ключове питання, яке постає перед інвесторами – це термін окупності вкладених інвестицій.

Освітлення місць громадського руху дозволяє забезпечити безпечне та привабливе середовище для всіх громадян. Але варто зазначити, що системи освітлення вулиць та площ вимагають при споживанні багато енергії. Крім того, часто спостерігається відсутність прозорості при відмовах чи гнучкості у плані адаптації освітлювальної інфраструктури [8].

1.2 Аналіз інтелектуальних систем освітлення

Практика показує, що використання інтелектуального керування освітлювальними приладами дозволяє продовжити термін служби світильників та знизити необхідність їх обслуговування. Висока безпека та достатня видимість в межах населеного пункту значно покращуються при допомозі цілеспрямованого освітлення та одночасно скорочення викидів вуглекислого газу, а світлове забруднення суттєво обмежується [9].

За допомогою існуючих на цей час варіантів рішення для інтелектуального управління освітленням можна зробити системи освітлення населених пунктів більш ефективними та запропонувати перший важливий крок для реалізації концепції «розумного населеного пункту». Потрібно використовувати інтелектуальне освітлення для модернізації діючих установок або для реалізації новітніх проєктів. Інтелектуальне керування освітлювальними приладами можна підтримувати новітніми комунікаційними технологіями, наприклад, LoRaWAN або за допомогою мобільного зв'язку [10].

Комбінуючи інтелектуальні компоненти управління та зв'язок, а також відкриту та безпечну систему управління освітленням, можна забезпечити повний контроль усієї інфраструктури освітлення населеного пункту. Таким чином, ми можемо оцифрувати вибрану інфраструктуру освітлення за допомогою універсальних пристроїв керування освітленням без обмежень на одного постачальника.

При об'єднанні інтелектуальних установок освітлення в одну мережу може послужити ідеальною платформою для додатків концепції «розумного населеного пункту» та IoT. Багатофункціональні вуличні ліхтарі освітлення в майбутньому мають взяти на себе важливі завдання в об'єднаному комунікаційною мережею населеному пункті. Поряд із загальним громадським доступом до комп'ютерних мереж вони можуть надавати інформацію про якість повітря та транспортний потік, а також діяти у якості зарядної колонки для електромобілів.

Також вуличні світильники з вмонтованими давачами навколишнього середовища можуть збирати інформацію, наприклад, про пересування, погоду та інтенсивність вуличного руху. При допомозі системи управління освітленням ця інформація передається відкритим інтерфейсом (API) на вказану платформу IoT або на комунальні чи інституційні платформи інформації, де вона змістовно зв'язується та аналізується [11].

1.3 Класифікація та комплектація систем керування освітленням

Аналіз середньостатистичного 8-годинного робочого дня будь якого великого чи дрібного виробництва однозначно свідчить про необхідність організації штучного освітлення. Без такого освітлення нереально створити оптимальні умови для трудової активності, а також підвищення продуктивності та безпеки персоналу. Про це згадується у численних галузевих та відомчих актах, але без урахування одного важливого на цей час моменту, а саме - економії ресурсів. Під час роботи освітлювальні прилади споживають

певну кількість електричної енергії і при неефективній схемі вони створюють проблеми для бюджету підприємства. Часто підприємства переходять на галогенні або світлодіодні світильники, але більш ефективним способом є впровадження системи керування освітленням на виробництві [12].

Електричний струм, який використовується для живлення всіх електричних приладів, зокрема і освітлювальних, вимагає спалення певного обсягу вугілля на теплових електростанціях, в результаті чого вивільняється тепла енергія. Ця енергія перетворюється в пару, яка приводить в рух лопаті турбіни, в результаті чого генерується той самий електричний струм. Аналогічних технологічних схем в залежності від типу станцій (АЕС, ГЕС і ін.) є достатньо, але спільним для них усіх є потреба у використанні природних ресурсів, які є не безмежні.

Задача енергозбереження в описаних умовах є досить обґрунтованою і з міркувань економії ресурсів та з міркувань фінансового погляду. Варто відмітити, що прийняти недавно Закон України 75/94-ВР спонукає вживати конкретних заходів з метою підвищення ефективності. До таких заходів можна віднести задачі проектування освітлення та системи керування ним.

Система керування освітленням представляє собою електронну мережу, в якій працюють наперед визначені інтелектуальні алгоритми. Головне завдання системи керування освітленням полягає в автоматизації функціонування внутрішнього і зовнішнього освітлення. В результаті цього людині не потрібно буде більше підходити і вмикати вимикачі, щоб збільшити освітлення на робочому місці - ці завдання буде вирішувати центральний або місцевий пульт керування. Така система буде визначати час, коли необхідно ввімкнути/вимкнути окремі контури, а також збільшити або зменшити інтенсивність світлового потоку [13].

В залежності від запланованих проектних рішень та розмірів системи, системи керування освітленням можуть мати різну комплектацію [14]:

- ✓ вимикачі з функцією автоматичного реагування;

- ✓ дімери з функцією коригування яскравості освітлення в залежності від певних умов;
- ✓ світлодіодні стрічки, лампи розжарювання, прожектори (з наявним додатковим обладнанням);
- ✓ комплекти давачів присутності, відкриття, світла, руху;
- ✓ системи керування з наявним спеціальним програмним забезпеченням та інші системи.

Зважаючи на різні завдання і комплектуючі, що можуть бути використані для їх реалізації, систему автоматичного керування освітленням можна класифікувати за розширеним переліком критеріїв. До таких критеріїв можна віднести спосіб передачі інформації, а також розміри та ієрархічну структуру.

За способом передачі інформації та контролю всі системи керування освітленням поділяються на наступні два типи: аналогові і цифрові. Для аналогового типу характерною особливістю є наявність значного числа кабельної з'єднувальної продукції, що в будь-якому варіанті є економічно не вигідним. Цифрові системи можуть використовувати спеціальний протокол, який дозволяє зменшити об'єм проводки, підвищити комфорт монтажу та експлуатації [15].

За масштабами реалізації всі системи керування освітленням можна також поділити на два види:

1) *локальні* – дозволяють здійснювати контроль вибраної малої групи світильників. Зазвичай такі системи не вимагають окремої проводки – весь конструктив з давачами та контролерами розміщують у компактному корпусі безпосередньо на світильниках. Деякі варіанти таких систем керування освітленням можуть обмінюватися між собою даними за допомогою діючої мережі живлення приладів;

2) *централізовані* - дозволяють здійснювати керування великим числом контурів освітлення, включаючи інші інженерні системи об'єкта, наприклад, опалення, кондиціонування, водопостачання і ін. Виконання вказаних задач

вимагає формування складної ієрархії, застосування спеціального програмного забезпечення, систем обміну даними та мікропроцесорів. Керування окремими гілками здійснюють з центрального вузла на основі заданих параметрів роботи та показників місцевих давачів.

Також існує чітко визначена ієрархія, в рамках якої система керування освітленням (зовнішнім і внутрішнім) може виконувати певний ряд наступних задач [16]:

1) *системи керування освітленням базового рівня* – володіють можливістю регулювати освітленість у діапазоні від 0 до 1000 люкс на висотах від 0 до 5 м, світловий потік у межах від 10 до 100%, а також визначати рух, присутність на місці, автоматично активувати та деактивувати освітлення. В комплект, крім світильників, входять промислові давачі та автоматика місцевого застосування;

2) *системи керування освітленням середнього рівня* - такі системи формуються на базі шаф керування у комплекті із засобами автоматизації, комутації, обліком електричної енергії та вільно програмованими контролерами з модулем розширення;

3) *системи керування освітленням просунутого рівня* – процес керування таким великим проектом вимагає застосовувати спеціальне програмне та апаратне забезпечення і реалізовується при використанні персональних або промислових комп'ютерів. Такі системи володіють можливістю візуалізації процесів, контролю стану системи, передачі і архівування даних, аналізу та формування звітів. У якості зв'язку використовуються дротові або бездротові технології (Ethernet, Internet, GPRS, IP).

1.4 Аналіз функцій та типів систем керування освітленням

Автоматичні системи керування освітленням залежно від виду та рівня можуть виконувати наступні групи функцій [17]:

✓ *інформаційні* – дозволяють забезпечити візуалізацію стану системи керування освітленням та керування нею. Сюди відноситься збір та обробка інформації від датчиків, вимірювання і контроль параметрів роботи певних елементів, реєстрація штатних та позаштатних ситуацій, формування звітів і інші функції;

✓ *сигналізаційні* – дозволяють інформувати персонал про спрацювання вимикачів, виникнення аварійних ситуацій, несанкціонованого підключення до системи, число несправних точок освітлення;

✓ *керування* – дозволяє забезпечити можливість автоматичного та ручного (дистанційного, апаратного) режимів роботи;

✓ *сервісні* – дозволяє здійснювати автоматичну та ручну діагностику, конфігурування, захист та забезпечує доступ до системи керування освітленням.

Використання сучасних напівпровідників, які працюють у видимому діапазоні, на сьогоднішній день є одним із найперспективніших напрямків у освітленні. Але цей вид приладів має зовсім інший принцип і вимоги до роботи у порівнянні з енергозберігаючими лампами розжарювання. Зокрема, передбачена можливість зміни яскравості в залежності від вимоги, наприклад, часу доби. Для цього в більшості випадків використовують широтно-імпульсну модуляцію, при якій на світлодіоди подається імпульсами високої частоти струм, внаслідок чого відбувається їх часте ввімкнення/вимкнення. В результаті людське око сприймає цей процес за плавну зміну яскравості.

Ще одним специфічним моментом є це колір, який отримують при змішуванні окремих каналів. Для контролю цього процесу зазвичай використовуються різні варіації RGB-контролерів (DMX, DALI, стандартні та багатоканальні), а також репітери, димери і датчі.

1.5 Аналіз видів керування вуличним освітленням

Розрізняють декілька видів керування вуличним освітленням, які мають свої переваги і недоліки.

Механічне керування освітленням передбачає використання простих пристроїв, наприклад, таймерів та перемикачів. Ці системи базуються на встановлені визначених часових інтервалів.

До переваг таких видів керування можна віднести простоту та надійність, низьку ціну встановлення та експлуатації. До недоліків - неефективне використання енергії та обмежену гнучкість.

Фотосенсорні системи керування здійснюють керування освітленням на базі рівня природного освітлення. Давачі фотореле можуть вмикати ліхтарі при настанні темряви і вимикати їх на світанку.

До переваг такого виду керування можна віднести енергозбереження за рахунок автоматичного ввімкнення і вимкнення та простоту встановлення. До недоліків – висока чутливість до погодних умов, а також обмежена можливість налаштування.

Таймерне керування дозволяє задавати режим ввімкнення і вимкнення освітлення. Такі системи можуть бути механічними і електронними. До переваг такого виду керування можна віднести можливість індивідуального налаштування та автоматизації процесу. До недоліків – необхідність постійного переналаштування, а також енерговитрати при неспівпаданні розкладу з рівнем природного освітлення.

Дистанційні системи керування працюють при використанні радіосигналів або Інтернету для ввімкнення і вимкнення освітлення. Такі системи можуть бути об'єднані з іншими системами керування населеним пунктом (розумний населений пункт).

До переваг такого виду керування можна віднести високу гнучкість та можливість налаштування, а також можливість об'єднання з іншими систе-

мами. До недоліків – високу ціну встановлення і обслуговування та можливі проблеми із безпекою інформації.

Інтелектуальні системи керування (smart lighting) при своїй роботі потребують використання датчиків руху, датчиків температури, датчиків вологості та інших сенсорів адаптації освітлення до умов довкілля [18]. Такі системи можуть становити частину загальної системи керування розумним населеним пунктом.

До переваг такого виду керування можна віднести максимальну енергоефективність, а також високу гнучкість та можливість адаптації. До недоліків – високу ціну встановлення та експлуатації, а також складність технічного обслуговування.

Можна також згадати приклади успішних проєктів розумного освітлення, одним із яких є система розумного освітлення у Барселоні з світлодіодними ліхтарями з датчиками руху та погодними сенсорами. Впровадження такої системи дозволило зменшити енергоспоживання більше 30% та покращити якість освітлення. Реалізація проєкту інтелектуального освітлення у Лос-Анджелесі за рахунок встановлення світлодіодних ліхтарів з дистанційним керуванням дозволила знизити енерговитрати більш ніж на 60%. Крім того, система може надавати інформацію про стан кожного ліхтаря з метою полегшення технічного обслуговування.

Також мали місце і невдалі проєкти, зокрема проєкт вуличного освітлення у Детройті при спробі модернізації системи застарілого вуличного освітлення з використанням неякісних компонентів та поганим плануванням призвів до частих поломок та високого енергоспоживання. В результаті це мало негативний вплив на бюджет міста та безпеку мешканців. Погано спланований проєкт у Х'юстоні із впровадження розумного освітлення мав проблеми через відсутність кваліфікованих фахівців та їх недостатню підготовку. В результаті чого система часто працювала некоректно та виникали вимкнення освітлення на довгий час.

1.6 Висновки до розділу 1

1. Виконано аналіз розумних систем вуличного освітлення, які дозволяють дистанційно керувати освітленням через мережу. регулювати яскравість, режими ввімкнення та вимкнення, а також контролювати статус та стан світильників. Це, в свою чергу дозволить здійснити оптимізацію роботи освітлення відповідно до умов та потреб споживача.

2. Автоматичне керування освітленням дозволяє економити час на ввімкнення та вимкнення освітлення, а також електроенергію при вмиканні освітлення за розкладом.

3. Освітлення є передумовою безпечного руху мешканців та транспорту, а достатній рівень освітленості дозволяє забезпечити контроль території у темний час доби, ландшафтне оформлення земельних ділянок, надання їм естетичного та привабливого зовнішнього вигляду.

4. Проведений аналіз показав, що кожен вид керування освітленням має свої переваги та недоліки, а вибір системи керування залежить від заданих умов та вимог. Правильне планування та використання новітніх технологій дозволяє підвищити енергоефективність та покращити якість, а недостатня якість підготовки приводить до невдалих результатів та фінансових втрат.

5. Основною задачею зовнішнього освітлення виступає штучне збільшення видимості в нічний час доби і для цього освітлювальне обладнання повинно вчасно вмикатися (план безпеки) та вимикатися (економія ресурсів) при потребі.

2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

2.1 Характеристика систем керування зовнішнього освітлення

В інфраструктурі будь яких житлових, промислових і адміністративних об'єктів передбачено присутність зовнішнього освітлення. Така система повинна працювати безперебійно та безпечно і для виконання цієї задачі використовується керування зовнішнім освітленням. Без прив'язки до масштабу об'єкта (прибудинкової території або автомагістралі) його потрібно освітлювати у темний час доби. Світло виступає у якості фактору безпеки при пересуванні мешканців цієї території, забезпечення руху автотранспорту, декоративної підсвітки будівель чи їх окремих елементів, освітлення білбордів і ін. [19]

На практиці користуються трьома способами керування освітленням: ручним, дистанційним та автоматичним.

При *ручному керуванні* ввімкнення та вимкнення вуличних світильників здійснюється оператором безпосередньо на місці. Цей один із найдавніших способів, коли ліхтарники запалювали окремо кожен ліхтар (газовий чи олійний), а потім його гасили. Ще до сьогодні у дворах приватних будинків користуються ручним керуванням зовнішнього освітлення. Проте у комунальних службах керування зовнішнім освітленням у ручному режимі є проблематичним через великі масштаби роботи. Відповідно, такий спосіб можуть використовувати тільки в надзвичайних випадках (наприклад, при здійсненні ремонтних робіт).

При *дистанційному керуванні* зовнішнім освітленням замість ліхтарників керування освітленням здійснюють фахівці енергорозподільчих мереж. Таку роботу фахівці служб проводять дистанційно за допомогою ввімкнення або вимкнення рубильника, внаслідок чого подається напруга в мережу або припиняється її подача (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Диспетчерський щит керування освітленням

При *автоматичному керуванні* зовнішнім освітленням керування здійснюється за допомогою автоматики, що є найбільш досконалим способом керування освітленням. Вмикання та вимикання освітлення виконується за допомогою застосування датчиків, які працюють за заданим алгоритмом і, як наслідок, така система освітлення працює без прямої участі людини.

Перехід на автоматичне керування обумовлене змінами в технологічному процесі. Відомо, що напруга до споживачів поступає від локально розміщених трансформаторних станцій, на яких відбувається трансформація високовольтної напруги на необхідну напругу.

Існує деякі обставини, що вимагають переходу на автоматичне керування. Зрозуміло, що будувати окремо трансформаторні підстанції для вуличного освітлення є економічно невигідно, тому трансформатори здійснюють перетворення напруги для всіх споживачів енергії на певній території. Для централізованого моніторингу за ввімкненням та вимкненням світильників необхідно було б тягнути до кожної трансформаторної підстанції окремий кабель, що створює значні витрати.

У зв'язку з цим було відмічено чисельний перехід на автоматичні системи керування освітленням. На перших початках становлення цієї технології принцип керування був дуже простим: на трансформаторних підстанціях встановлювали обладнання, що контактувало з датчиками освітленості [20].

Пізніше виявилися недоліки такого підходу:

- некоректна робота при неправильній калібровці;
- ліхтарі часто вимикалися в темну пору доби від світла фар від автомобілів або від світла місяця;
- якщо на датчик падав сніг, бруд або лід, то спостерігалось хибне спрацювання світильника;
- іноді датчики виходили з ладу.

Ще один недолік датчиків освітленості полягає у лінійності технології, коли світло не обов'язкове у темний час доби, якщо на цій території нема рухомих об'єктів (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Лінійне освітлення території

З метою оптимізації технології датчики вирішили поєднувати з часовими реле, внаслідок чого таймер здійснював вмикання і вимикання світильників у заданий час (наприклад, освітлення вмикалося з 10-ї години вечора до 4-ї години ранку).

Згодом почали застосовувати астрономічні реле, у яких програма за заданим алгоритмом здійснює розрахунок час заходу і сходу сонця. За результатами розрахунку здійснюється керування освітленням.

Також мають популярність датчі освітленості, які є актуальними приладами для керування освітленням при раптовому зниженні природного освітлення (наприклад, при тумані, задимленні), а також датчі руху на стовпах з ліхтарями (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Датч руху на стовпі з ліхтарем

На сьогоднішній день найбільше поширення отримали автоматичні системи керування освітленням на базі цифрових технологій, в яких поєднується ручне керування та автоматика.

2.2 Обладнання автоматичних системи керування

Апаратна частина такого обладнання складається з верхнього і нижнього рівня. Верхній рівень представляє собою панель диспетчерського пункту та керується диспетчером. На панель надходить інформація з систем, які розміщені нижче. На верхньому рівні здійснюється виправлення параметрів програми або здійснюються інші дії керування.

Нижній рівень складається з електрощита, розташованого на ділянці освітлення і призначеного для комутації роботи світильників та їх

контролю функціонування без втручання людини. Процес керування відбувається при використанні зонального контролера або серверного обладнання. Контролер використовують для формування сигналу підключення групи світильників вуличного освітлення [21]. Існує кілька способів зв'язку між верхнім та нижнім рівнем:

- 1) модемний канал - зв'язок здійснюється телефонною лінією;
- 2) GSM-канал - керувати освітленням вулиці можна за допомогою системи глобального позиціонування або пристрою, що може точно встановити час сходу й заходу сонця;
- 3) LAN-канал – представляє собою спосіб зв'язку, у якому блок керування і диспетчерський пункт з'єднуються за допомогою крученої пари;
- 4) радіоканал – представляє собою дороговартісне обладнання з безкоштовним зв'язком.

Система автоматизованого керування зовнішнім освітленням дозволяє розв'язати низку завдань, які умовно можна поділити на дві групи – функції керування та контрольні функції.

Функції керування здійснюють наступні операції:

- вмикають та вимикають світильники;
- програмують роботу приладів за часом або реакцією датчиків;
- перемикають фаз на електричних лініях;
- примусове перезавантаження мікропроцесорних систем у шафі

керування.

Функції контролю здійснюють наступні операції:

- перевіряють стан ліній підключення;
- контролюють лінії вводу;
- контролюють роботу контакторів та вихідних автоматів-вимикачів;
- слідкують за приладами обліку витрат електроенергії;
- моніторять несанкціонований доступ до шафи;

- перевіряють стан ліній;
- вивчають несправності системи;
- спостерігають за пожежною безпекою.

Системи керування вуличним світлом комплектуються інтегрованими джерелами електроживлення. Якщо напруга в мережі зникає, то система може автономно працювати ще протягом двох годин. У багатьох системах передбачена передача інформації про зміну параметрів, а також дублювання збереження інформації.

Шафа керування зовнішнім освітленням представляє собою центральну ланку системи з зосередженими всіма схемами, які здійснюють розподіл навантаження та контроль процесу освітлення (рис. 2.4). Через шафу керування здійснюється захист фотореле від короткого замикання та перепадів напруги [22].

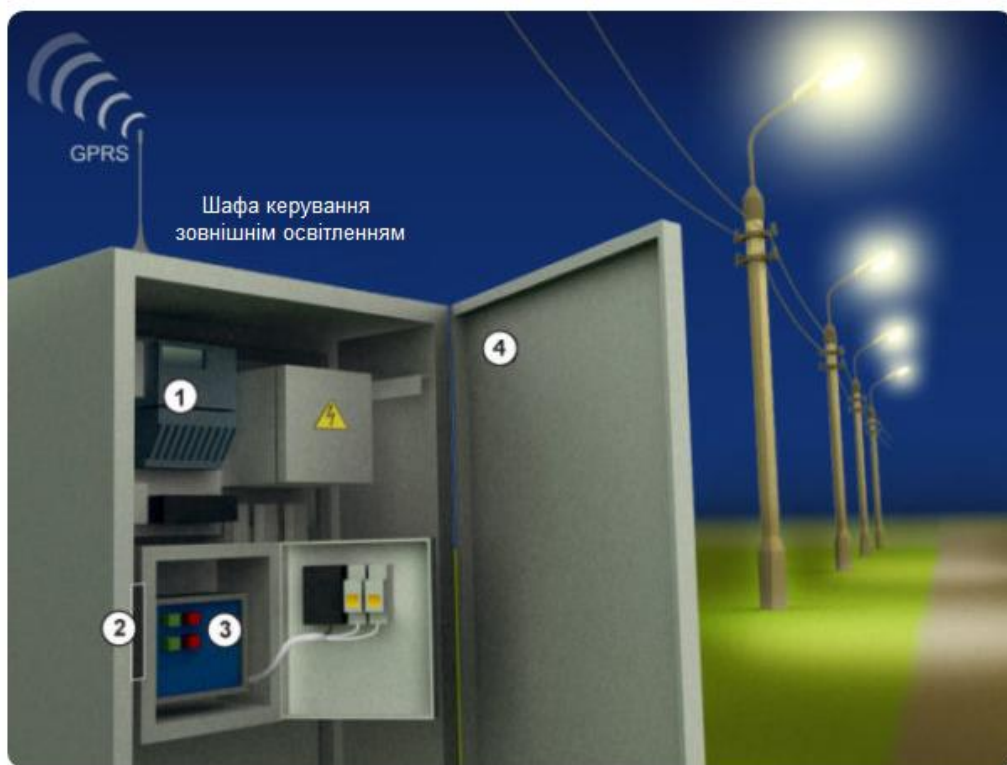


Рисунок 2.4 – Шафа керування зовнішнім освітленням:

1 - електролічильник, 2 - замок, 3 - захисний бар'єр, 4 – двері шафи

Головне завдання шафи керування полягає в контролі за спрацюванням реле виходячи з часу доби, керування за допомогою пульта та регулювання яскравості світіння після підключення реле.

Шафи функціонують у наступних режимах керування:

- *місцеве керування* (звичайний таймер, астротаймер або інший пристрій визначення);
- *каскадна система керування напругою 220 В/50 Гц* - керування здійснюється по спеціальному сигнальному провіднику від іншої шафи або пульта.

Підбір режимів здійснюється при наявності існуючих органів керування. Шафа має роздільний контроль нічного освітлення з трьох однофазних ліній та додаткове нічне освітлення з трьох однофазних ліній в електрощитах на 100 А та шести в електрощитах на 250 А. Шафи мають внутрішню підсвітку з звичайною лампочкою розжарювання потужністю 40 Вт (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Внутрішній монтаж шафа керування зовнішнім освітленням

При достатніх фінансових можливостях можна встановити кабель до кожного вуличного світильника з реле, при цьому одну шафу розміщують усередині будівлі, а другу - на початку ділянки. Але в цьому випадку щити будуть працювати одночасно, в результаті чого кожен блок буде споживати електричну енергію як повноцінний кабельний канал.

Тому рекомендують наступну схему: перша шафа встановлюється біля воріт і підключають до її контролера світильники з давачами руху та фотореле. Другу шафу встановлюють всередині будинку і з неї здійснюють дистанційний контроль за допомогою спеціального пульта.

Оптимальною може бути така система: перша шафа встановлюють біля воріт і підключають до її контролера ліхтарі з давачами руху з фотореле, розміщених вздовж доріжки. Другу шафу встановлюють безпосередньо в самому приміщенні, з якого здійснюється дистанційне керування. Схема є доволі простою: до каналу, що йде в блок контролю, під'єднують вибрані світильники, а з пульта подають сигнал. Щит дозволяє здійснювати команди автоматичного відключення струму по периметру ділянки.

2.3 Використання баласту в системах керування освітленням

Керування світильниками з газорозрядними лампами освітлення здійснюється традиційним способом, а саме з використанням баласту та баластового опору. Технологія базується на застосуванні межі потужності світлотехнічного обладнання, а обмеженням виступає номінал.

Принцип роботи *магнітних баластів* (або *індукційних*) полягає в наступ-ному: струм виступає у якості розпалюючого елемента для газорозрядної лампи освітлення. *Індукційний баласт* використовується для обмеження потужності джерела світла при застосуванні опору індуктивності [23].

До недоліків магнітного баласту можна вказати зміщення фази між напру-гою та електричним струмом, внаслідок чого відбувається зміна світлового потоку.

Для запуску реакції в деяких випадках використовують імпульсний запалюючий пристрій. На рис. 2.6 приведено схему з використанням імпульсного запалюючого пристрою.



Рисунок 2.6 – Схема з імпульсним запалюючим пристроєм

Використання низькочастотних або високочастотних *електронних баластів* кваліфікується у якості традиційного типу керування, у яких відсутній стартер запалювання [24]. При допомозі електронного баласту можна підвищити ефективність використання світильника, оскільки при цьому зменшується його вага та знижується витрата електроенергії. Такі пристрої є мал шумними. До недоліків електронного баласту можна вказати спотвореність гармонік, що знижує якість радіохвиль. На рис. 2.7 приведено схему підключення електромагнітного пуско-регулюючого апарату.

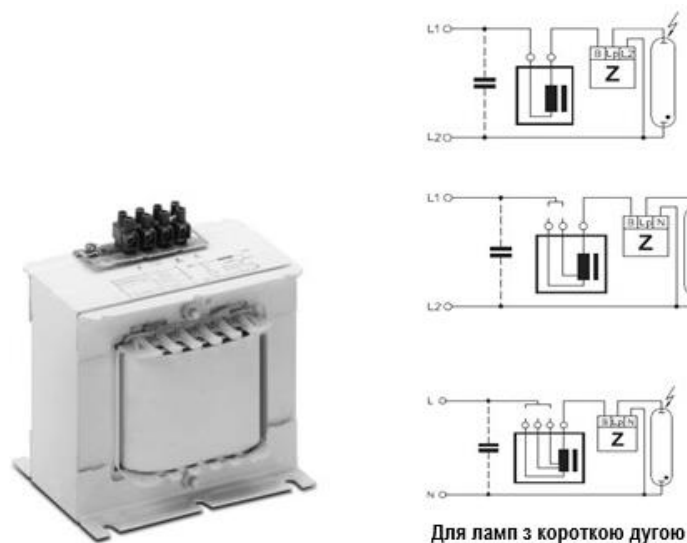


Рисунок 2.7 – Схема підключення електромагнітного ПРА

За рахунок використання електронного баласту можна отримати якісне розпалювання лампи освітлення та підтримати заданий рівень напруги. Пристрій в більшості випадків комплектується засобами дистанційного керування.

Ще одним недоліком електронного баласту є те, що лампи та фотоелементи схильні до забруднення, внаслідок чого чутливість пристрою знижується.

2.4 Технологія розрахунку зовнішньої освітленості

Термінологія проведення розрахунку освітленості на об'єктах та дорогах описана в ДБН В.2.5-28: 2018 (актуальні на даний час в Україні) і містить такі терміни [25-]:

✓ *відблиск* – коли учасник дорожнього руху відчуває дискомфорт або можливість виразно бачити об'єкти чи деталі через неадекватний розподіл яскравості та контраст довкілля;

✓ GR_l – значення допустимого показника відблиску;

✓ *розрізнення* – помітність об'єкта на фоні оточуючої обстановки;

✓ *гострота зору* – можливість розрізнити дрібні окремі деталі малого розподілу;

✓ *ВДМ* – вулична дорожня мережа;

✓ *експлуатаційна освітленість* – освітленість, яка мінімально дозволяється на певній поверхні;

✓ *заливне освітлення* – суттєве збільшення освітленості у порівнянні із звичайною;

✓ *загальне освітлення* – поділяється на локалізоване та рівномірне;

✓ *зоровий дискомфорт* - напруження очей і незручність при розрізненні об'єктів.

Розрахунок освітленості здійснюють для визначення необхідної кількості світильників, ламп і яскравості для освітлення вибраного

об'єкта. Дотримання цих норм контролюється державними органами, які карають підприємства за їх порушення.

При розрахунку освітленості використовують наступну термінологію і показники.

1) *Коефіцієнт запасу (Кз)* – дозволяє визначити зниження коефіцієнта пульсації освітленості та інтенсивності світлового потоку, які мають місце при експлуатації внаслідок старіння, забруднені обладнання та природному зменшенні властивостей відбиваючих поверхонь. Можна визначити за формулою:

$$K_{\Pi} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{\text{сер}}} \cdot 100, \quad (2.1)$$

де $E_{\max}$ і $E_{\min}$ – значення найвищого і найнижчого індексу коливання освітленості;

$E_{\text{сер}}$ – усереднене значення освітленості.

2) *Напівциліндрична освітленість* – це насичення простору світлом та ефект утворення тіней для зовнішнього спостерігача, який рухається вулицею паралельно до її осі і обчислюється інженерним способом.

3) *Пішохідна зона* – місце для руху пішохода, де забороняється їзда автомобілями.

4) *Параметр зорового дискомфорту* – критерій оцінки дискомфорту від блиску (нерівномірний розподіл яскравості у просторі з неприємними відчуттями). Можна визначити за формулою:

$$M = \left[\sum_{i=1}^N \frac{L_i^2 \cdot \omega_i}{p_i^2 \cdot L_a} \right]^{0.5}, \quad (2.2)$$

де M – необхідний показник;

L_i - яскравість блискучого джерела;

ω – значення розміру тілесного кута джерела блиску;

p_i - значення індексу позиції джерела блиску відносно зорової лінії;

L_a - значення яскравості адаптації.

5) *Flicker-ефект* – частини світильника можуть розмірено мерехтїти створювати відблиски від предметів, що спричиняє роздратування людини, відволікає її увагу, викликаючи небезпечні ситуації

6) *Фон* – розташована навколо певного об'єкта поверхня, який можна розрізнити (світлі, середні та темні фони).

Норми освітленості зовнішніх об'єктів та доріг мають поширення при проектуванні нового штучного освітлення або його реконструкції (наприклад, для існуючих автотранспортних шляхів, тунелів, різних пішохідних переходів).

При штучному освітленні загального виду зазвичай використовують світлодіодні та розрядні лампочки, які мають велику світловіддачу і тривалий термін роботи (табл. 2.1)

Таблиця 2.1 - Рекомендовані показники для паркувальних ділянок

	Освітленість, лк	Рівномірність освітлення	Показник відблиску	Показник кольоро- передачі
В місцях з невеликою інтенсивністю руху біля магазинів і житлових приміщень	6	0,26	56	21
В місцях з середньою інтенсивністю руху біля офісів, спортзалів, заводів, держустанов	11	0,26	51	21
В місцях з великою інтенсивністю руху біля ТРЦ, шпіл, багатоцільових приміщень	21	0,26	51	21

Класифікація числа видів та місця розміщення джерел світла встановлюється в залежності від вибраних об'єктів освітлення, а саме: пішохідних переходів, доріг, вулиць, площі, транспортних розв'язок, тунелів, мостів, естакад, шляхопроводів, АЗС, гаражів, автостоянок, СТО, пасажирських зупинок.

Усереднена горизонтальна освітленість дозволяє визначити ступінь освітленості різних об'єктів у населених пунктах:

- площ, вулиць та доріг районного значення – 6 лк;
- вулиць та доріг місцевого значення – від 2 до 4 лк.

Освітленість тротуарів біля доріг повинна приблизно дорівнювати половині яскравості дорожнього покриття. У місцях безперервного руху транспорту середню яскравість горизонтального покриття дороги приймають більше 2,0 кд/м² у населеному пункті та 1,6 кд/м² – поза населеними пунктами (під'їзди до логістичних центрів, аеропортів, ТРЦ ті ін.).

Магістралі і траси на перехрестях та на дорогах мають бути освітлені на рівні основної дороги, а на з'їздах та другорядних міських дорогах – більше 10 лк. Величина засліпленості на дорогах і вулицях не повинна бути більше 150 лк, а світловіддача світильників по рівні зору водія має мати обмеження:

при куті 80 ° - не перевищує 31 кд на 1000 лм;

при куті 90 ° - не перевищує 11 кд на 1000 лм.

Висоту установки світильників роблять такою, щоб приріст яскравості не був більше 15% нормованого рівня яскравості (від 0,5 кд/м² до 2,0 кд/м²), що показано в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Рекомендовані рівні яскравості зовнішніх світильників

Рівень яскравості, кд/м ²	Приріст яскравості, не більше ніж
1,25 – 2,01	11
0,41 – 0,81	16

Коефіцієнт запасу потрібен для компенсації падіння інтенсивності освітлення під час роботи приладів і його значення має бути диференційовано в залежності від виготовлення світильника.

Зорову орієнтацію пішоходів та водіїв уночі забезпечують різними видами світильників і розміщують їх таким способом, щоб напрямок

шляху вказувався утворюючою лінією. Вночі не рекомендується частково від-ключати освітлювальні прилади, коли вони розташовані в один ряд та по 1-му на опорах.

На дорогах населених пунктів рівень засліпленості не повинен пере-вищувати значення 150 лк і для зовнішнього освітлення рекомендуються встановлювати високого тиску газорозрядні лампи (зазвичай, натрієві). Показник засліпленості можна знайти за формулою:

$$P = (S - 1) \cdot 1000, \quad (2.3)$$

де P – величина засліплення;

S - величина коефіцієнта, що враховує наявність і відсутність сліпучих факторів у полі зору учасника руху (рівний відношенню порогових різниць яскравості).

Світильники для парпетів шляхопроводів, автомобільних мостів, будівель не обмежені у висоті установки. При монтажі потрібно виключи-ти доступ випадкових осіб до внутрішньої конструкції приладу та забез-печити захисний кут у поздовжній площині щонайменше 100° .

У разі використання світильників з розсіяним променем на авто-заправках, автостоянках або сервісних центрів біля доріг встановлюються на висоті від 3 м. Висота світильників над різними видами доріг повинна бути більшою 10 м, а при використанні опор вистою від 20 м встановлені на них світильники повинні забезпечувати освітлення з розподілом у просторі під кутом до 65° .

Якщо під час ремонтних робіт використовуються пересувні прожектори, то їх потрібно спрямовувати так, щоб вони не засліплювали учасників дорожнього руху, а також приміщень навколо.

Критерій правильного вибору світильників для доріг полягає в енергоекономічності, тобто коли прилад споживає найменше потужності при забезпеченні заданих показників освітлення. Розміщення світильників має зручним для сервісного обслуговування та монтажу.

На центральних вулицях населених пунктів, які використовуються для пішоходів, середня напівциліндрична освітленість має становити більше 6 лк. Нормовані показники зон, призначених для пішоходів, приведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Стандартизовані показники пішохідних зон

Підклас	Найменування	Середній показник горизонтального освітлення	Кореляція освітленості (середньої до максимальної)
П1	Вокзали, аеропорти, естради під відкритим небом і виставкові павільйони, площадки перед гіпермаркетами і стадіонами	20 лк	1:3
П2	Головні пішохідні вулиці населеного пункту, громадські адміністративні центри, пішохідні мости, площі, відкриті площадки на зупинках громадського транспорту, під'їзні шляхи до автозаправок	10 лк	1:3
П3	Центральні входи в парки, території санаторіїв, пішохідні вулиці, другорядні входи стадіонів і виставкових центрів	6 лк	1:5
П4	Під'їзди і підходи до дитячих навчальних закладів, тротуари, центральні алеї, території біля лікарень, санаторіїв, поліклінік	4 лк	1:5
П5	Допоміжні проїзди, алеї парків і скверів, проїзний простір між гаражами, тимчасові паркувальні місця	2 лк	1:10
П6	Другорядні алеї і бокові входи парків	1 лк	1:10

Для освітленості звичайних пішохідних переходів є одне важливе завдання - якнайкраще для водіїв показати пішохода. Тому освітленість цих переходів у виробничих зонах має становити не менше 15 лк, а у житлових – більше 6 лк на горизонтальній поверхні. Якщо наземні переходи відокремлюють спеціальними світловими знаками або мітками, то їх зазвичай встановлюють на висоті 3 метрів, щоб водії бачили їх здалеку і вчасно пригальмовували. Для цього використовують спеціальні контраст-

ні кольорові лампочки, яскравість яких має становити не 300 кд/м, а гранична частота миготіння має становити до 60 спалахів за хвилину.

Для пішохідних переходів середня освітленість по горизонталі рівна:

- для підземних переходів 75 лк;
- для сходів підземних пішохідних переходів 20 лк;
- для закритих переходів мостів з прозорими стінками 75 лк;
- для сходів та майданчиків закритих мостових переходів з прозорими стінками 50 лк.

Підземні пішохідні переходи комплектують світильниками з дифузійними розсіювачами або кутом захисту не менше 15°.

Інтенсивність освітлення рекомендується підвищувати для столичних центрів, великих історичних міст, курортів та портів. Зменшувати рівень освітленості допускається на:

- 30% при зменшенні інтенсивності руху до третини від максимального значення;
- 50% при зменшенні інтенсивності руху до 1/5 від максимального значення.

Забороняється вночі відключати повне або часткове штучне освітлення в таких зонах: у сільських селищах, пожежних, службово-господарських та внутрішніх проїздах, на стоянках автомобілів і на пішохідних мостах та алеях.

У транспортних тунелях та на притунельних об'єктах рекомендують застосовувати наступні види освітлення:

- *стаціонарне робоче*, що передбачає нічний і денний режими та може створювати у потрібний час доби освітленість на рівні для забезпечення безпеки та зорового комфорту учасників дорожнього руху;

- *аварійне*, яке передбачає обладнання світловими показниками запасних виходів та напрямів до них.

Рівень освітленості тунелів ґрунтується на необхідній відстані для безпечного гальмування і вихідні значення цього показника наступні:

Швидкість, км/год	40	60	80	100	120
Відстань гальмування, м	25	55	100	155	220

Тунелі бувають різної форми: довгими та короткими, кривими та прямими, односторонніми та двосторонніми. Усю цю інформацію потрібно враховувати при виконанні розрахунку оптимальної освітленості з метою створення достатньої видимості, використовуючи Державні будівельні нормами.

Середній показник освітлення покриття дороги в тунелях довжиною більше 60 м в темний час доби в горизонтальній площині має бути від 50 лк і вище. Симетричне підсвічування використовується в тунелях з двосто-роннім рухом, а зустрічне освітлення – з одностороннім. Рекомендується дотримуватися плавного переходу при в'їзді або виїзді в тунелі між при-родним та електричним освітленням, для чого існує 4 зони яскравості (рис. 2.6): виїзна/під'їзна; гранична; перехідна; внутрішня.

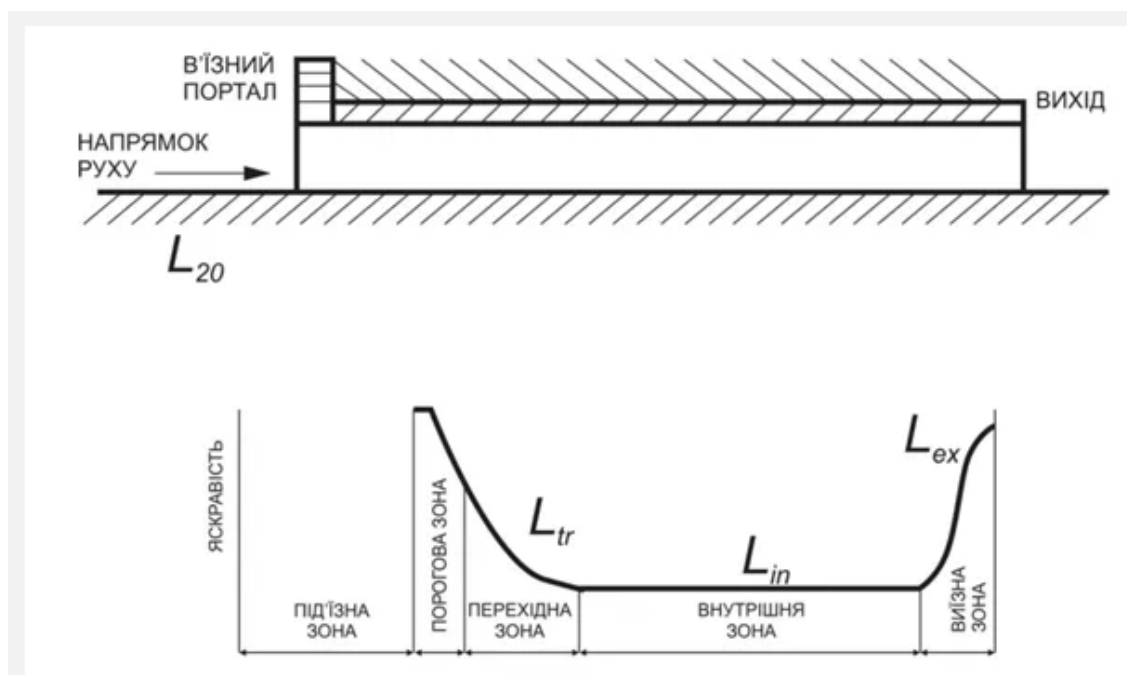


Рисунок 2.8 - Зони яскравості тунелю

Освітленість автотранспортних тунелів, зокрема яскравість адаптації при в'їзді/виїзді з тунелю можна визначити за такою формулою:

$$L_{20} = K_c L_c + K_r L_r + K_e L_e \quad (2.4)$$

де L_{20} – значення величини яскравості адаптації;

K_c – значення частки небосхилу;

L_c – значення його усередненої яскравості;

K_r – значення частки дорожнього полотна;

L_r – значення його усередненої яскравості;

K_e – значення оточення порталу в зоні адаптації;

L_e – значення його середньої яскравості.

Режим оптимальної яскравості та довжину кожної зони знаходять при урахуванні кривизни та довжини тунелю, його орієнтації по сторонах світла, проектної швидкості та інтенсивності дорожнього руху, наявності певних забудов. Незалежно від цих факторів в темний час доби тунель сприймається у якості єдиної зони з одним рівнем яскравості.

Річну середньодобову величину інтенсивності транспортного руху можна визначити за такою формулою:

$$N_{\text{доб}} = \frac{100 N_{\text{роз}} K_2 K_3 K_4}{K_1} \quad (2.5)$$

де $N_{\text{доб}}$ – розрахункове значення інтенсивності руху транспорту за годину з найменшим коефіцієнтом варіації (для Бучача – це з 17.00 до 18.00 і з 8.00 до 9.00);

K_1 – величина коефіцієнта нерівномірності руху транспорту погодинно кожної доби;

K_2 – величина коефіцієнта кожного дня щотижнево;

K_3 – величина коефіцієнта кожного місяця щорічно;

K_4 – величина коефіцієнта частки загального обсягу руху транспорту за період з 24.00 до 6.00 (приймають не більше 1,03-1,05).

Робоча освітленість транспортних доріг тунелів володіє такими базовими характеристиками:

- розподілом зон середніх параметрів яскравості нижнього відрізка стін та дорожнього полотна;
- рівномірною яскравістю нижньої частини стін та дорожнього покриття;
- сліпучістю дії світильників;
- флікер-ефектом.

Якщо світильники розміщуються на стінах тунелю та узбіччі транспортних доріг, то їх висота повинна становити більше 4 м.

2.5 Розрахунок системи вуличного освітлення м. Бучача

Передача електричної енергії для світильників вуличного освітлення м. Бучача здійснюється за допомогою повітряних ліній. Розрахунок вуличного освітлення здійснюється за найбільше завантаженою гілкою світильників [26]. Оскільки гілки освітлення не мають відгалуження, то необхідний мінімальний переріз дроту можна визначити за формулою:

$$F_{\min} = \frac{M_{\text{вул.}}}{K \cdot \Delta U_{\text{розр.}}} \quad (2.6)$$

де $M_{\text{вул.}}$ – величина навантаження гілки вуличного освітлення.

Момент навантаження гілки вуличного освітлення можна розрахувати за формулою:

$$M_{\text{вул.}} = P_{\text{л.вул.}\Sigma} \cdot (I_{\text{л},0} + I_{\text{л},1}/2) \quad (2.7)$$

де $P_{\text{л.вул.}\Sigma}$ – значення активної сумарної потужності всіх ламп світильників, що знаходяться в найбільш завантаженій гілці;

$L_{Л,0}$ і $L_{Л,1}$ – довжина кабельної лінії від трансформаторної підстанції до першого світильника та довжина повітряної лінії найбільш завантаженої гілки (рис. 2.9).

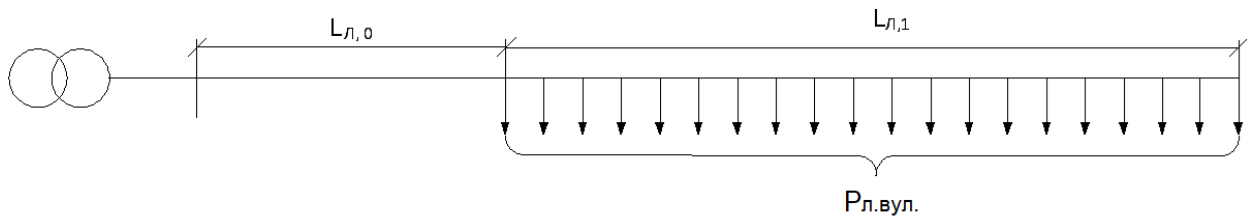


Рисунок 2.9 – Схема найбільш завантаженої гілки світильників вуличного освітлення

Активну сумарну потужність всіх ламп світильників можна розрахувати за формулою:

$$P_{л.вул.Σ} = P_{л} \cdot n \quad (2.8)$$

де n – кількість світильників у найбільше завантаженій гілці (для нашого випадку $n = 50$).

Знаходимо активну сумарну потужність всіх ламп світильників:

$$P_{л.вул.Σ} = 0,2 \times 50 = 10 \text{ кВт.}$$

Відстань повітряної лінії між двома найближчими світильниками у мережі вуличного освітлення рівна 26 м, а довжина кабельної лінії від трансформаторної підстанції до найближчого світильника – 35 м.

Момент навантаження гілки вуличного освітлення буде рівний:

$$M_{вул.} = 10 \times (40 + 50 \times 26 / 2) = 6900 \text{ кВт·м.}$$

Необхідний мінімальний переріз сталевалюмінієвого дроту буде становити:

$$F_{min} = 6900 / (44 \times 6,7) = 23,41 \text{ мм}^2$$

Приймаємо стандартний переріз дроту 25 мм^2 . Схема вуличного освітлення доріг м. Бучач приведена на рис. 2.10

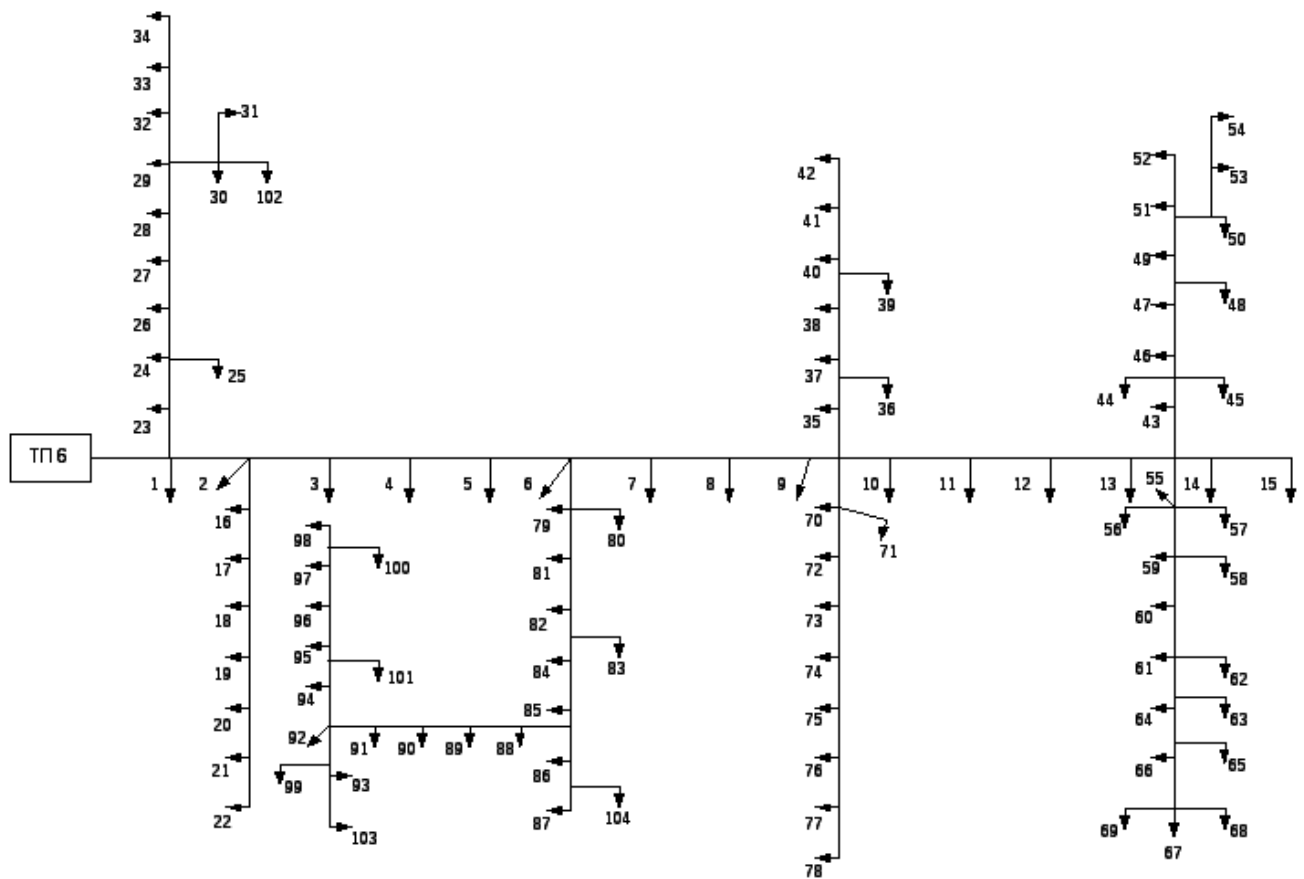


Рисунок 2.10 – Схема освітлення доріг м. Бучач

Знаходимо потужність одного світильника:

$$P_{св} = 0,125 \times 1,1 = 0,1375 \text{ кВт.}$$

Проведемо розрахунок моменту навантаження самого довгої ділянки мережі (1-98), оскільки потужність ламп світильників прийнято однаковою ($P_{л} = 125 \text{ Вт}$), а відстань між світильниками різна, то розрахунок виконаємо за формулою (2.7):

$$\begin{aligned} M = & 0,1375 \times (44 \times 21 + 88 \times 20 + 132 \times 19 + 176 \times 18 + 220 \times 17 + 264 \times 16 + 301 \times 15 + \\ & + 338 \times 14 + 375 \times 13 + 412 \times 12 + 449 \times 11 + 486 \times 10 + 523 \times 9 + 560 \times 8 + 597 \times 7 + \\ & + 634 \times 6 + 671 \times 5 + 708 \times 4 + 745 \times 3 + 782 \times 2 + 819 \times 1) = 10060,05 \text{ кВт} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

Розрахунки інших ділянок будуть аналогічними, а отримані результати розрахунків заносимо в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати розрахунку моментів навантаження

		Для 1-го світ.	М, кВт×м
		31	45,7875
		25	20,35
		99	91,3
		101	101,475
		100	630,575
		104	70,95
		83	60,775
		80	45,5125
		71	63,6625
		36	59,5925
		39	78,925
		44	92,95
		45	92,95
		48	108,213
		50	118,388
		56	92,95
		57	92,95
		58	103,125
		62	113,3
		63	118,388
		65	123,475
		68	128,563
		69	128,563
		Сума	1291,38
Ділянка	М, кВт×м		
1-98	10060,1		
23-34	283,4		
16-22	227,15		
35-42	433,538		
70-78	618,75		
43-52	596,888		
55-67	714,175		
7-15	598,95		
Сума	6766,45		
Для 2-х світ.	м, кВт×м		
30-102	127,188		
93-103	278,988		
86-87	202,675		
53-54	332,613		
Сума	470,73		

Необхідний мінімальний переріз сталевалюмінієвого дроту буде становити:

$$F_{min} = (13532,9 + 941,4625 + 2582,7175)/(44 \times 8) = 48,46 \text{ мм}^2.$$

Приймається стандартний переріз дроту 50 мм².

2.6 Висновки до розділу 2

1. Було проведено детальну характеристику систем керування зовнішнім освітленням з визначенням їх переваг та недоліків та вибрано автоматичну систему керування освітленням на базі цифрових технологій, в якій поєднується ручне керування та автоматика.

2. Розглянуто обладнання автоматичних системи керування та вибрано оптимальний варіант шафи керування відповідно до поставленої в роботі задачі.

3. Розглянуто схеми використання баласту в системах керування освітленням та їх можливе застосування для реалізації поставленої задачі.

4. Розглянуто технологію розрахунку зовнішньої освітленості та виконано розрахунок системи вуличного освітлення м. Бучача.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Підхід до проектування сучасних систем керування вуличним освітленням

Сучасні автоматизовані системи вуличним освітленням в більшості випадків є багаторівневими розподіленими системами з центральним диспетчерським пунктом управління освітленням, в яких розміщений сервер та автоматизовані робочі місця диспетчерів, а також диспетчерський щит [27]. Все обладнання для керування освітленням знаходиться в пунктах керування освітленням, які з'єднані з центральним диспетчерським пунктом за допомогою дубльованих каналів зв'язку (провідних/бездротових).

У сучасних автоматизованих системах управління освітленням реалізовано такі функції:

- незалежне ввімкнення та вимкнення освітлювального обладнання вуличного освітлення заданого об'єкта, ряду об'єктів, усіх об'єктів у ручному режимі з панелі управління пунктах керування освітленням, за заданим розкладом, за командою диспетчера з центрального диспетчерського пункту тощо;
- оперативне надання всієї діагностичної інформації про стан пунктах керування освітленням, параметри мережі;
- оповіщення оперативного персоналу звуковою та світловою сигналізацією про виявлені позаштатної ситуації та спроби несанкціонованого доступу в пунктах керування освітленням і крадіжки обладнання, з реєстрацією всіх параметрів роботи системи та дій диспетчерів;
- збір та архівування в пам'яті сервера всієї інформації про режими роботи та стан обладнання, параметрів мережі з часовими мітками;
- візуалізація збереженої інформації у вигляді мнемосхем, таблиць та графіків, із зазначенням оперативної інформації на моніторах диспетчерів, на диспетчерському щиті за поточну добу та за будь який проміжок часу із збережених даних.

Система також забезпечує віддалений автоматичний облік споживаної електроенергії всіма пунктами керування освітленням.

Набуло значного поширення проектування інтелектуальних освітлювальних систем та комплексів автоматизації освітлювальних пристроїв, які дозволяють здійснювати дистанційне керування та автономну роботу світильників різних типів. При цьому використовуються програми на гаджетах, панелі та пульти з такими складовими як давачі руху, сутінкові, димери і ін.

Інтелектуальне керування освітлювальними приладами дозволяє збільшити термін служби світильників та знизити необхідність їх обслуговування. За допомогою цілеспрямованого освітлення можна суттєво покращити безпеку та хороша видимість у межах населеного пункту, скоротити викиди вуглекислого газу і обмежити світлове забруднення [28].

За допомогою розробленої в цій кваліфікаційній роботі системи керування зовнішнім освітленням з використанням GSM-модуля (інтелектуальної системи управління) передбачається зробити системи освітлення населених пунктів більш ефективними та важливий крок на шляху реалізації концепції *«розум-ного населеного пункту»*. В цій роботі використано інтелектуальне освітлення для модернізації існуючих систем освітлення або для реалізації нових проєктів. Інтелектуальне керування освітлювальними приладами підтримується сучасними комунікаційними технологіями, такими як LoRaWAN або мобільний зв'язок.

Комбінуючи інтелектуальні компоненти управління і зв'язок та відкрити і безпечну систему управління освітленням можна досягти повного контролю усієї інфраструктури освітлення населеного пункту.

Варто зазначити, що поєднання інтелектуальних пристроїв освітлення в мережу може слугувати у якості ідеальної платформи для додатків концепції *«розумного населеного пункту»* та IoT (інтернет речі, тобто мережі фізичних об'єктів з вбудованими технологіями для здійснення взаємодії із зовнішнім середовищем, передачі інформації про свій стан і її прийом ззовні). IoT використовують у якості методу зв'язку для підключення систем керування

зовнішнім освітленням, оскільки він характеризується низьким енергоспоживанням, широким покриттям та високою густиною підключення та дозволяє здійснювати дистанційний контроль, керування та затемнення вуличним освітленням.

Передбачається, що багатофункціональні вуличні ліхтарі будуть брати на себе виконання задач в об'єднаному комунікаційною мережею населеному пункті, зокрема зможуть надавати інформацію про якість повітря та транспортний потік або діяти в якості зарядного стовпчика для електромобілів. При допомозі системи управління освітленням ці інформація буде поступати через відкритий інтерфейс (API) на розроблену платформу IoT або на комунальні платформи даних для детального зв'язку та аналізу.

Варто відмітити, що розумні системи вуличного освітлення надають можливість дистанційного керування освітленням мережею, зокрема регулювання яскравості, розкладу ввімкнення та вимкнення, а також контролювати статус та стан світильників. Це, в свою чергу, оптимізує роботу освітлення згідно заданих умов та потреб [29].

3.2 Розробка інтерфейсу системи керування освітленням

Пристрій було розроблено на кафедрі електричної інженерії Тернопільського національного технічного імені Івана Пулюя у співпраці з ТОВ «Інфотехцентр» (м. Тернопіль).

Розроблена система вуличного освітлення представляє собою це сучасне рішення для автоматизованого та дистанційного керування освітленням у населених пунктах, на об'єктах інфраструктури та в приватному секторі. Вона поєднує апаратні та програмні компоненти, що забезпечують гнучке управління світлом за розкладом або в ручному режимі.

Система керування змонтована в пластиковому ящику з ступенем захисту IP66, в якому розміщено основні компоненти системи (рис. 3.1): ввідний двопозиційний автоматичний вимикач, електронний лічильник

електроенергії з підтримкою інтерфейсу RS-485, два автоматичні вимикачі і два проміжні реле для підтримки двоканального режиму роботи, інтелектуальний контролер освітлення і блок живлення для нього.

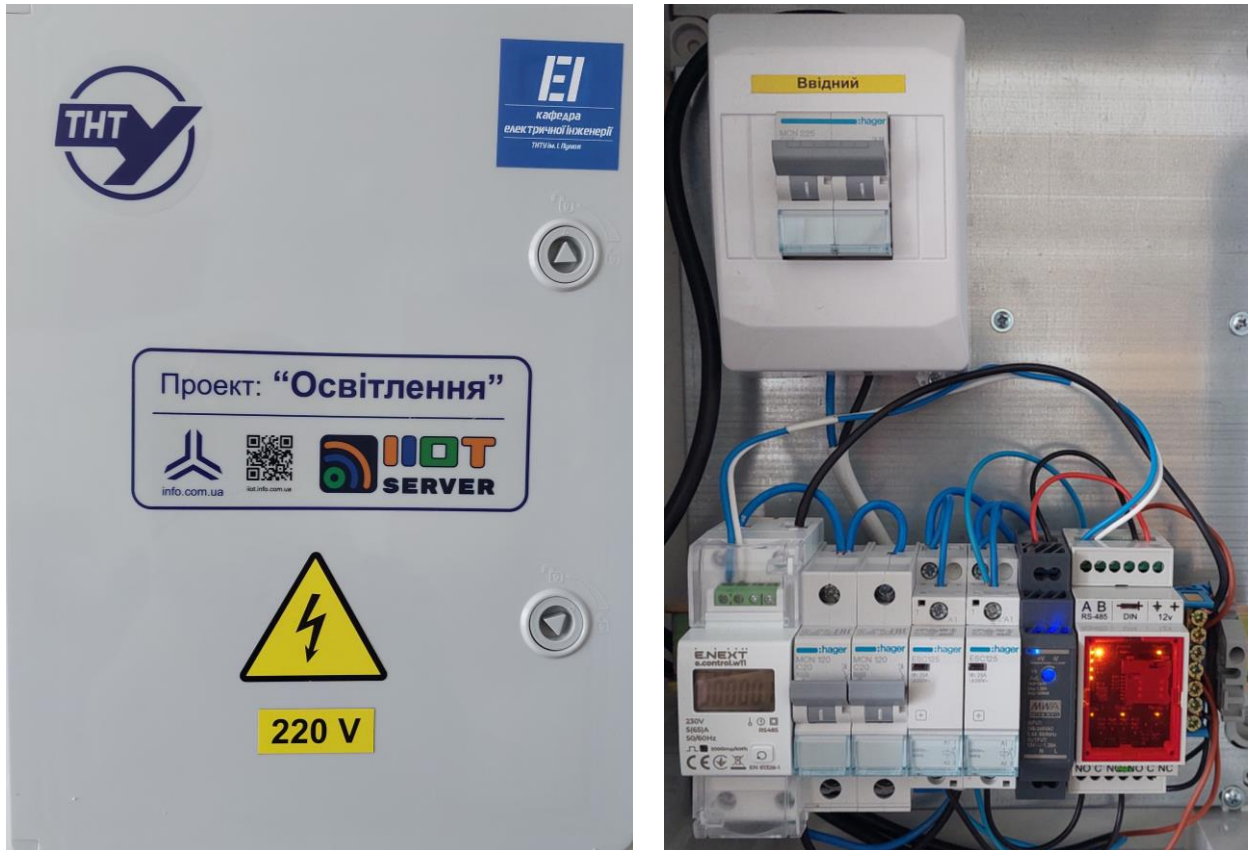


Рисунок 3.1 – Двоканальна система керування вуличним освітленням

Розроблена система інтелектуального освітлення включає в себе такі базові складові.

1) Контролер освітлення (рис. 3.2):

- встановлюється безпосередньо на електроопорі або в електрощиті;
- має вбудований GSM/GPRS модем для зв'язку з сервером через мобільний Інтернет;
- підтримує локальне зберігання та виконання розкладів увімкнення/вимкнення освітлення.
- може працювати автономно при втраті зв'язку з сервером;

- підтримує підключення електролічильника через інтерфейс RS-485 для збору даних про фактичне споживання електроенергії (наприклад, з лічильників типу Modbus або DLMS) [30].

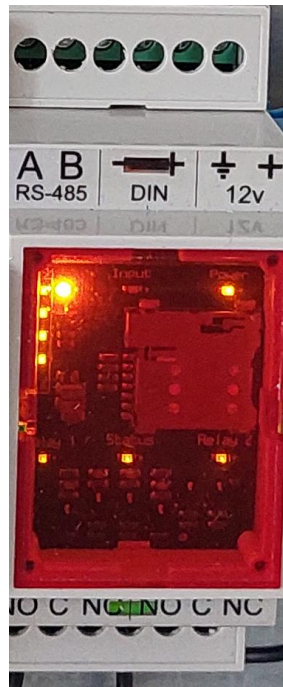


Рисунок 3.2 – Інтелектуальний контролер освітлення

2) Веб-сервер (панель управління):

- веб-інтерфейс для адміністратора або оператора (рис. 3.3);

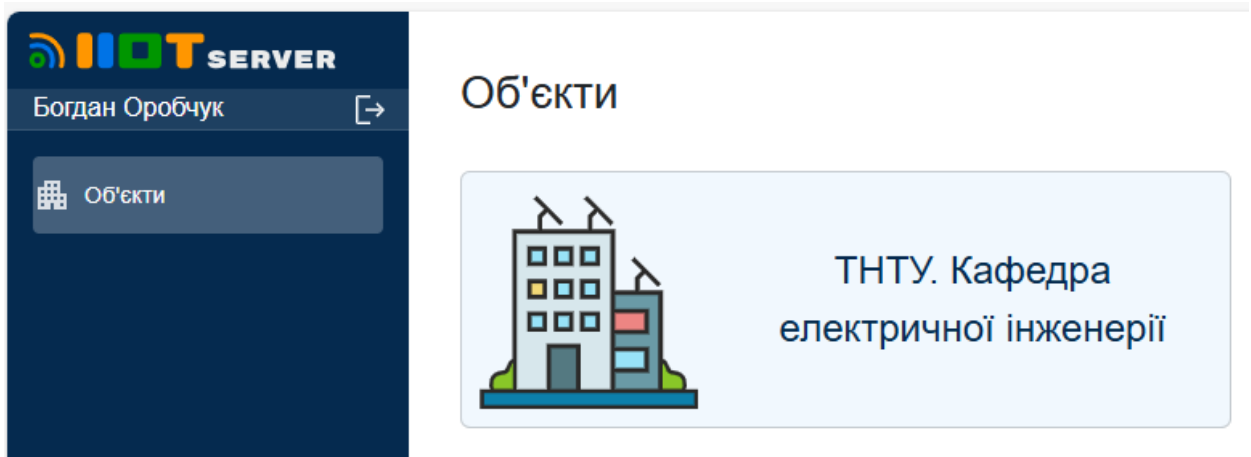


Рисунок 3.3 – Веб-інтерфейс користувача

- дозволяє створювати та редагувати правила керування освітленням:

✓ щоденні правила (рис. 3.4);

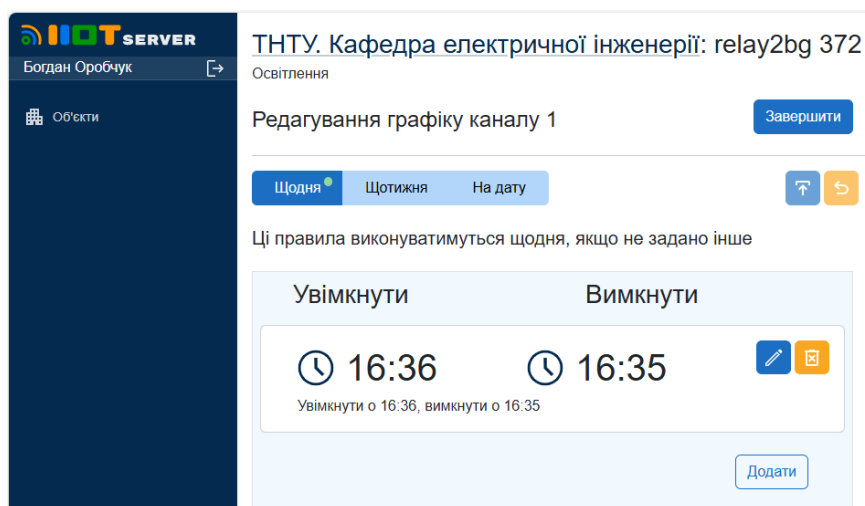


Рисунок 3.4 – Задання щоденних правил

✓ по днях тижня (рис. 3.5);

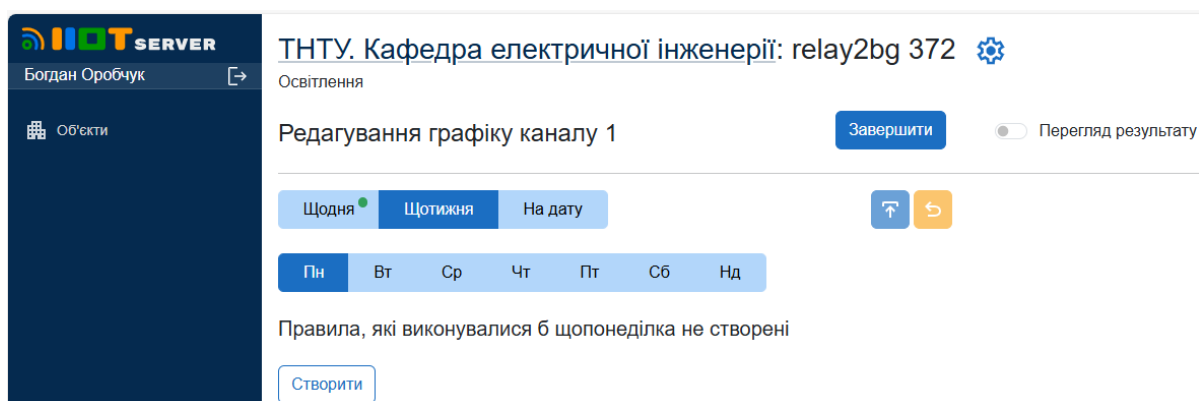


Рисунок 3.5 – Задання щотижневих правил

✓ на задану дату (рис. 3.6);

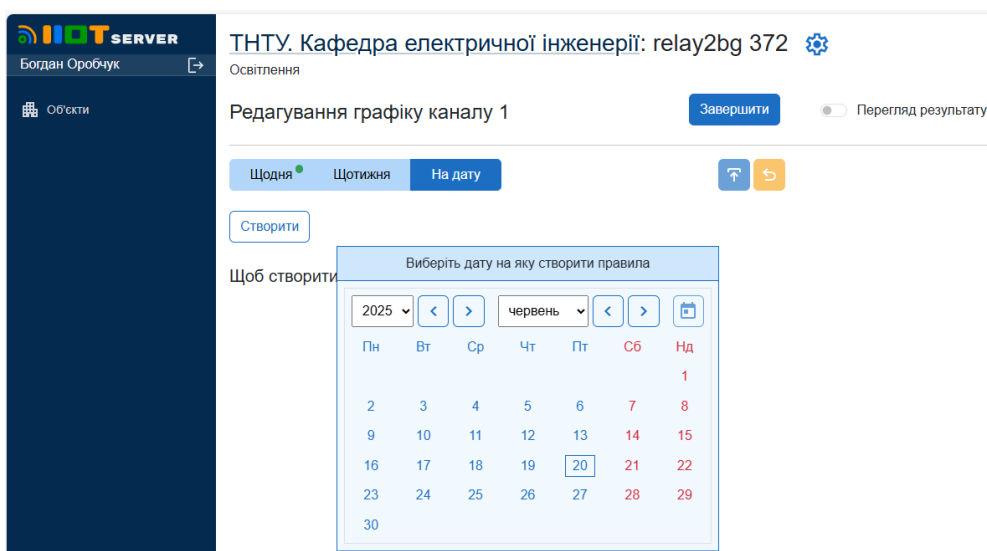


Рисунок 3.6 – Задання правил на дату

- ✓ відносно сходу та заходу сонця з урахуванням географічних координат встановлення контролера (рис. 3.7);

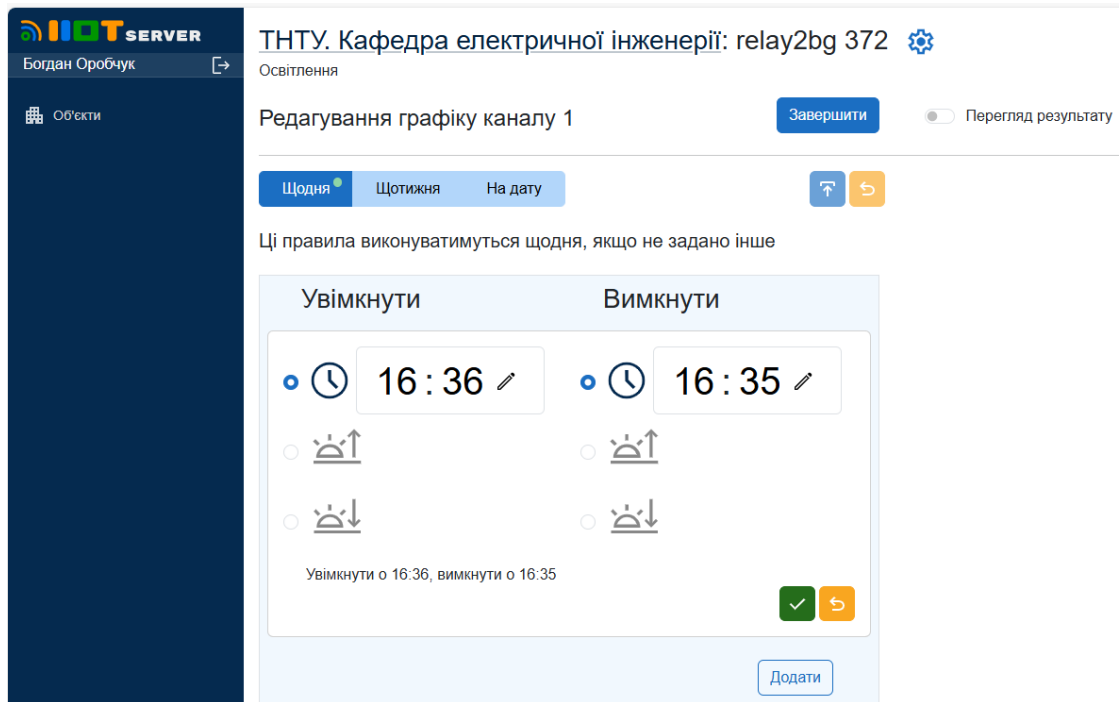


Рисунок 3.7 – Задання правил відносно сходу та заходу сонця

- відображає статус кожного контролера в реальному часі (рис. 3.8);

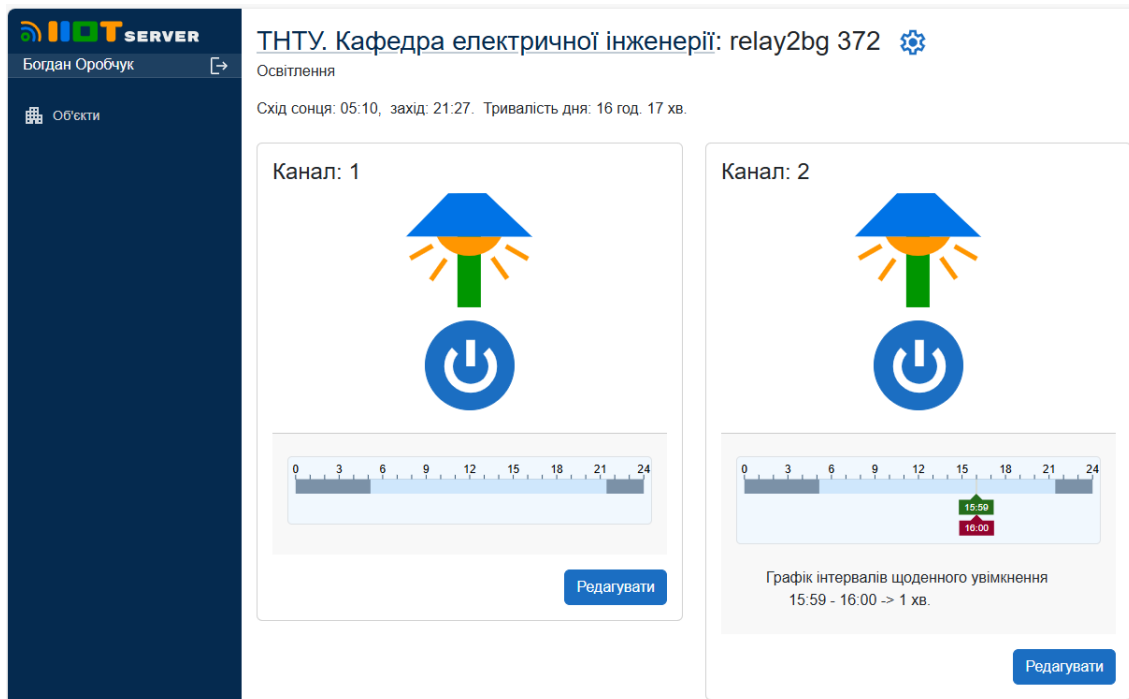


Рисунок 3.8 – Статус контролера в реальному часі

- збирає та відображає дані з лічильника споживання енергії, дозволяючи відстежувати витрати в розрізі часу та об'єктів (рис. 3.9).

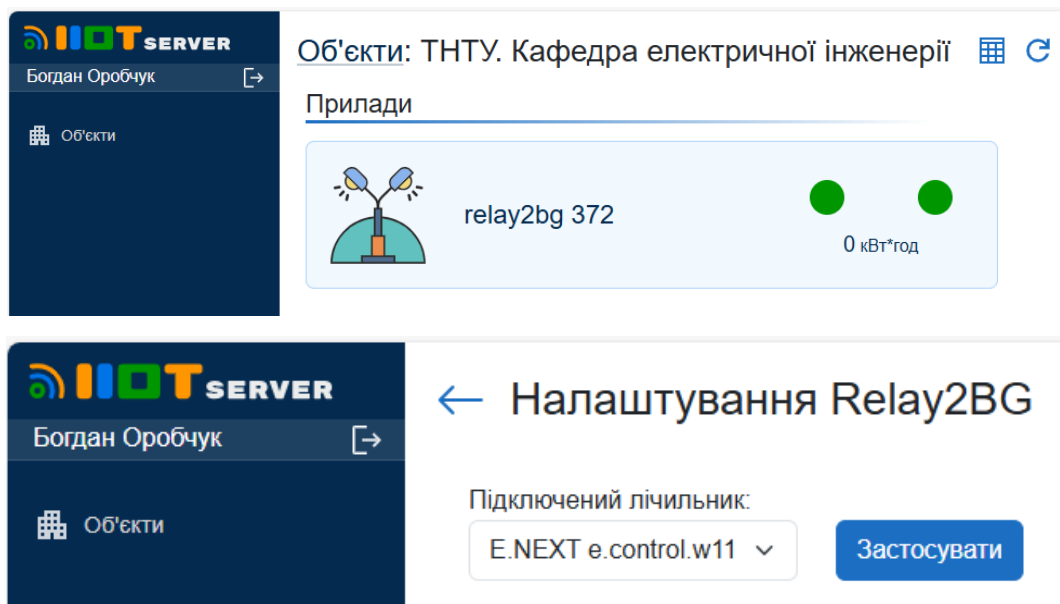


Рисунок 3.9 – Статус контролера з даними лічильника

3) Мобільний додаток

Призначений для ручного дистанційного керування освітленням і дозволяє виконувати наступні операції:

- увімкнути або вимкнути освітлення на вибраному контролері;
- перевірити поточний стан системи;
- отримати сповіщення про помилки або порушення графіку.

Функціональні можливості розробленої системи наступні:

1) гнучке програмування розкладів, тобто можна задати графік роботи освітлення:

- на кожен день тижня,
- на конкретну дату,
- або відносно астрономічного часу (схід/захід сонця) з оживістю налаштування відступу;

2) підключення електролічильника: контролер зчитує дані споживання електроенергії з лічильників через інтерфейс RS-485. Ці дані доступні в особистому кабінеті або мобільному додатку;

3) дистанційне керування - через мобільний застосунок або веб-панель користувач може миттєво змінювати стан освітлення;

4) моніторинг та діагностика - система веде журнал подій, реєструє збої, втрати зв'язку, перевантаження та інші стани;

5) безпека - керування доступне лише авторизованим користувачам, всі з'єднання шифруються.

Сценарії використання розробленої системи керування освітленням:

- автоматичне увімкнення освітлення за графіком або відносно заходу сонця;
- контроль витрат електроенергії за допомогою даних з лічильника;
- ручне керування під час аварій або обслуговування;
- оптимізація витрат енергії шляхом розумного керування.

3.3 Розробка схеми пристрою на базі IDS-контролера

Сімейство контролерів розроблене для керування різними типами приладів на виробництві та в домашніх умовах. Контролери підтримують безпроводний зв'язок Wi-Fi та GSM, що дозволяє здійснювати керування ними з комп'ютерів, планшетів та смартфонів. Для цього нами розроблено спеціалізований додаток IDS-Devices (Windows, Android). Також для налагодження і тестування розроблено додаток "IDS-Diagnostics", який дозволяє здійснювати початкове налагодження та діагностику контролерів. Завдяки гнучкій системі налаштування контролери можуть бути налагоджені під різні виробничі задачі [31]. Розроблена схема контролера приведена на рис. 3.10. Програмне забезпечення контролера передбачає можливість оновлення, що дозволяє розширити функціональність в майбутньому. Також контролери мають веб-інтерфейс, що дозволяє здійснювати контроль та налагодження з браузерів (без використання спеціалізованих додатків), а саме:

- усі контролери побудовані на одній програмній платформі, що дозволяє керувати ними з одного додатку;

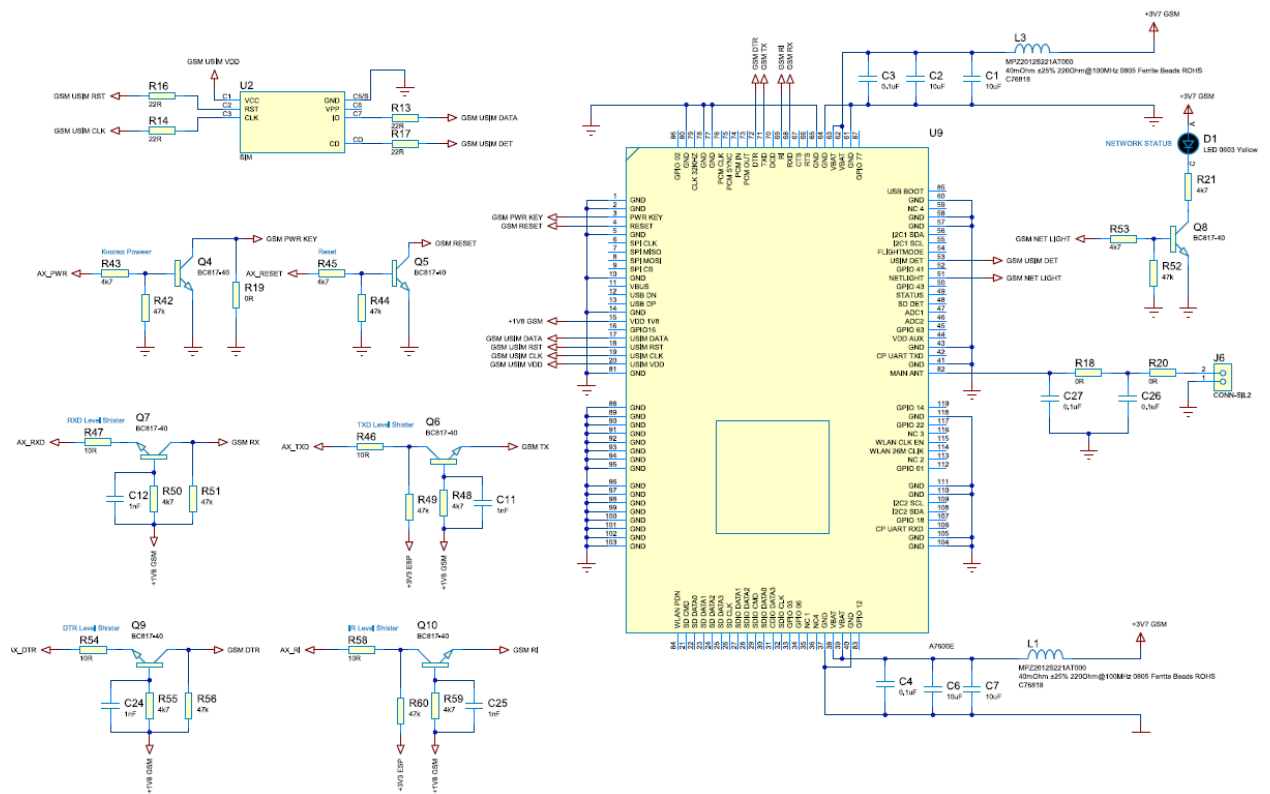


Рисунок 3.10 – Схема контролера IDS для системи керування освітленням

- легке і зрозуміле налаштування;
- сучасна елементна база;
- наявність програмного забезпечення для діагностики;
- можливість поновлення програмного забезпечення;
- можливість програмної зміни конфігурації;
- можливість вибору та налаштування фільтрів вхідних сигналів;
- можливість керування з програм користувача за допомогою стандартних протоколів;
- бездротове мережеве підключення;
- можливість інтеграції в єдину систему;
- можливість автоматизованого збору даних;
- можливість віддаленого керування засобами VPN;
- можливість використання резервного живлення;
- можливість налаштування програмного забезпечення під вимоги користувача.

ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework) представляє собою офіційну платформу розробки від компанії Espressif для мікроконтролерів серії ESP32, ESP32-S та ESP32-C. На рис. 3.1 приведено схему процесора серії ESP32, який використано для побудови контролера системи керування освітленням.

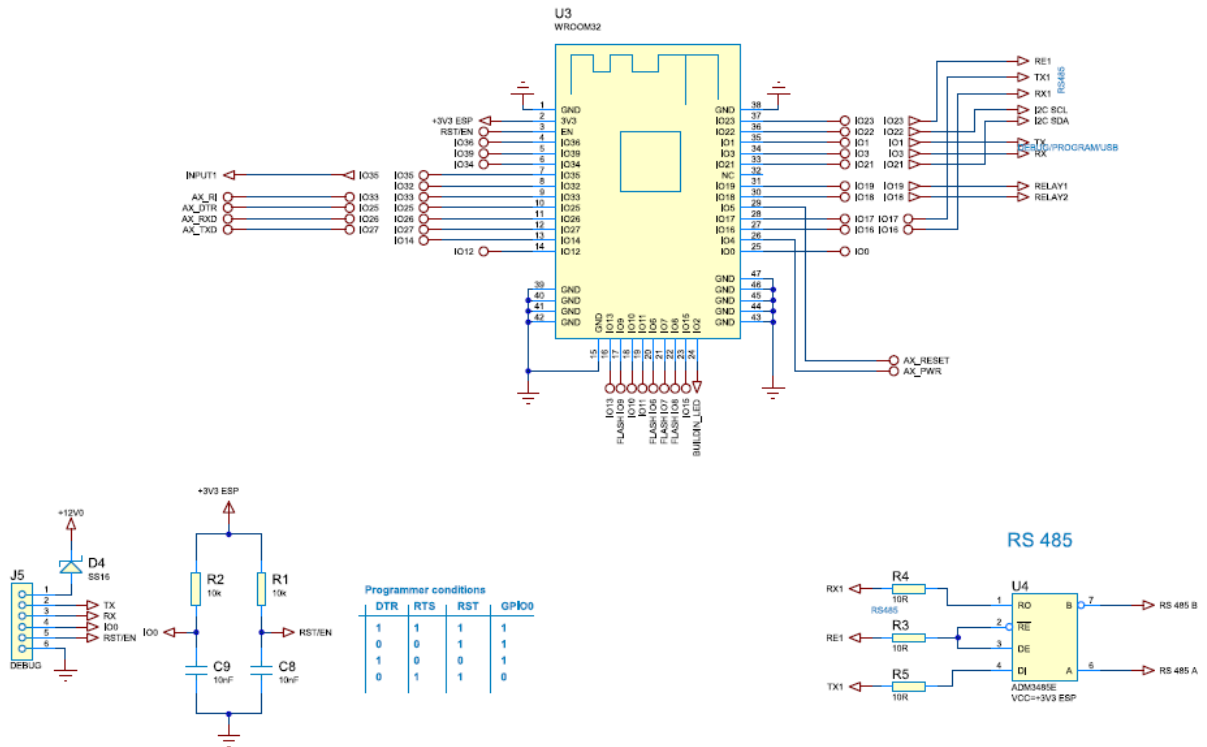


Рисунок 3.11 – Схема процесора серії ESP32

Використана платформа надала всі необхідні інструменти для створення надійних, багатозадачних, мережевих та безпечних додатків для IoT пристрою керування системою освітлення з використанням мови програмування C та C++. Платформа ESP-IDF включає в себе інструментарій, бібліотеки та приклади для розробки програмного забезпечення, що працює на цих чипах. Основні особливості ESP-IDF:

- офіційна платформа - ESP-IDF розроблена компанією Espressif, що гарантує стабільність, підтримку та регулярні оновлення;
- підтримка широкого спектру ESP32 - платформа працює з різними варіантами ESP32, включаючи ESP32-S та ESP32-C серії;

- повноцінний SDK - ESP-IDF пропонує повний набір інструментів для розробки, збірки та налагодження програмного забезпечення.
- С та C++ - основними мовами програмування є С та C++, що дозволяє використовувати велику кількість існуючих бібліотек та інструментів;
- вбудована підтримка IoT - ESP-IDF має вбудовані можливості для роботи з Wi-Fi, Bluetooth, управління живленням, безпекою та іншими функціями, необхідними для IoT-додатків;
- зручність використання - ESP-IDF спроектований для спрощення розробки, включаючи інструменти для створення та налаштування проектів, а також велику кількість прикладів;
- мультизадачність та безпека - ESP-IDF забезпечує можливості для створення багатозадачних програм та реалізації безпекових функцій;
- підтримка різних операційних систем - ESP-IDF працює на Windows, Linux та macOS.

Для початку роботи з ESP-IDF в кваліфікаційній роботі була використана ESP32 плата, кабель USB, комп'ютер з ОС Windows, інструментарій для компіляції коду для ESP32, засоби збірки (CMake, Ninja) та програмна платформа ESP-IDF. Варто відзначити, що ESP-IDF представляє собою потужну та зручну платформу для розробки IoT додатків на основі ESP32. Вона надає все необхідне для створення надійних, безпечних та функціональних пристроїв, що підтримують сучасні технології та протоколи [32]. Програму керування створено на мові програмування C/C++ з використанням середовища Visual Studio Community та технології WPF (Windows Presentation Foundation). Така технологія становить частину платформи .NET і є її підсистемою для розробки графічних інтерфейсів.

3.4 Розробка електричної схеми керування освітленням

Для фінальної реалізації поставленої задачі розробки системи керування освітленням для територіальних громад на базі GSM-модуля було виконано підбір комплектуючих та виконано монтаж електричної схеми керування, що приведена на рис. 3.12.

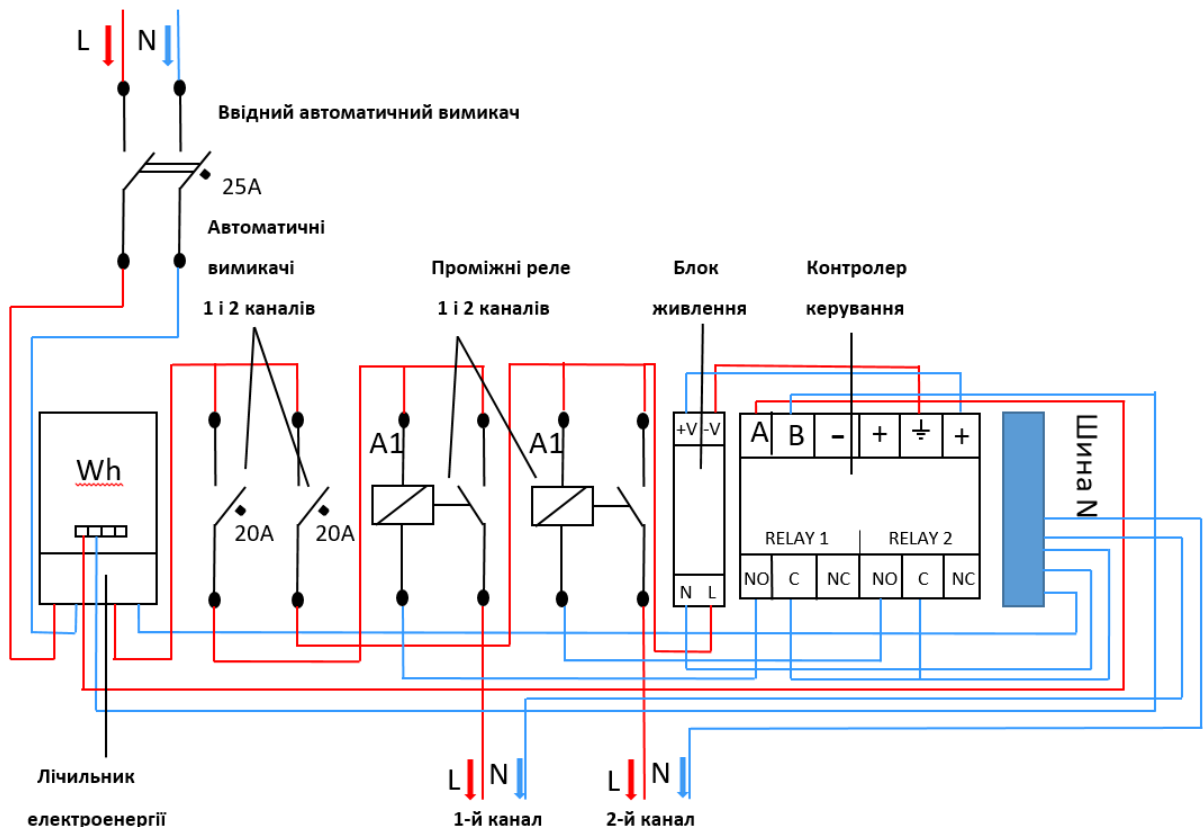


Рисунок 3.12 – Схема електрична системи керування освітленням

Схема керування освітленням складається з розробленого контролера керування на базі процесора серії ESP32, опис якого приведено в попередньому підрозділі, електричного лічильника для обліку спожитої електроенергії, ввідного автоматичного вимикача, двох автоматичних вимикачів для захисту від перевантаження двох робочих каналів освітлення, двох проміжних реле для підтримки заданої потужності навантаження на кожному каналі та блоку живлення для контролера керування освітленням.

Ввідний автоматичний вимикач серії HAGER MCN225 2P 6 кА С-25А 2М представляє собою електропристрій, що використовується для захисту в

електричних колах від перевантажень та коротких замикань (рис. 3.13). Дозволяє забезпечити автоматичне відключення мережі живлення при виникненні можливого пошкодження обладнання, пожежі і ін. Вимикач є двополюс-ним 2Р на номінальний струм 25А, тобто може витримувати навантаження до 25 Ампер при роботі в нормальних умовах.



Рисунок 3.13 – Автоматичний вимикач MCN225

Цей автоматичний вимикач володіє відповідними стандартами безпеки з довговічним корпусом із якісних матеріалів та може легко встановлюватися та обслуговуватися, що досить зручно для використання у різних електричних системах.

Автоматичний вимикач HAGER 1п, 20А, С, 6кА на 20А (рис. 3.14).



Рисунок 3.14 – Автоматичний вимикач MCN120

Такий автомат використовується для захисту електричної мережі від навантажень при підключенні приладів з високою потужністю. Вимикач є однополюсним автоматом і спрацьовує внаслідок розриву робочих контактів при перевищенні номінального пропускного струму 20А.

Контактор (силове реле) HAGER ESC125 є електромагнітним пристроєм, що має контактну групу та електромагнітну котушку (рис. 3.15). Принцип роботи контактора подібний до роботи електромагнітного реле - при подачі струму на електромагнітну котушку навколо сердечника формується електромагнітне поле, що притягує якор, який керує контактною групою і відбувається замикання/розмикання контактів. На відміну від реле, контактор володіє дугогасною системою для гасіння електродуги під час увімкнення/вимкнення контактора.



Рисунок 3.15 – Електромагнітний контактор ESC125

Модульні контактори HAGER використовуються для комутації та керування електричними колами, створення системи автоматичного включення та вимкнення електричних приладів, опалення, а також освітлення.

Блок живлення Mean Well використовується для живлення приладів невеликої потужності (рис.3.16). Крім подачі напруги 12В для живлення контролера керування освітленням, він також служить для стабілізації напруги, що є важливим для збільшення терміну експлуатації самого пристрою. Це гарантує отримання максимальної ефективності та продуктив-

ності роботи всієї системи. Блок живлення володіє високою стабільністю вихідної напруги із можливістю захисту від короткого замикання і захисту від перевантаження.



Рисунок 3.16 – Блок живлення Mean Well

Лічильник однофазний e.control.w11 5(65) А електронний, клас 1.0, некомерційний, RS485 (рис.3.17). Даний тип лічильника використовують для вимірювання активної/реактивної енергії змінного струму, а також напруги, активної і реактивної потужності, коефіцієнта потужності, частоти.



Рисунок 3.17 – Лічильник однофазний e.control.w11

Лічильник має дво- або однонаправлене вимірювання енергії, а також порт RS485, що дозволяє здійснювати дистанційне зчитування параметрів.

3.5 Висновки до розділу 3

1. В час постійного подорожчання енергоносіїв впровадження новітніх автоматизованих систем керування вуличним освітленням є реальним і доволі ефективним інструментом енергозбереження, що дозволяє економити до 70% електричної енергії в порівнянні з традиційними системами управління вуличним освітленням.

2. Впровадження розробленої системи дозволить підвищити загальну надійність і стійкість до відмови системи освітлення.

3. Розроблена система автоматичного керування освітленням дозволяє не витрачати час на включення та вимкнення освітлення вручну, а також економити електроенергію при вимиканні освітлення за розкладом.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Заходи по забезпеченню безпеки при проведенні лабораторних робіт

Запропонована в кваліфікаційній роботі стенд установки керування вуличним освітленням для об'єднаних територіальних громад на базі GSM-модуля встановлюється в лабораторії «Систем управління електропостачанням».

Стенд універсальний і дозволяє працювати в трифазних мережах з ізолюваною і заземленою нейтраллю. Живлення стенда здійснюється від трифазної мережі із заземленою нейтраллю фазною напругою 220 В. Під час експлуатації електроустановки виникає небезпека механічних ушкоджень і ураження електричним струмом персоналу. З метою запобігання цим факторам безпеки всі механічні вузли електроприводу, які обертаються, закриті захисними і металевими кожухами. В силових струмопроводах застосована подвійна ізоляція, швидке відключення схеми в аварійних режимах, яке здійснюється автоматичним вимикачем. Корпуси електричних машин і апаратури керування заземлені.

На передній панелі лабораторного стенду розміщений ПЛК (програмований логічний контролер), на якому є індикаторні лампи, що сигналізують про наявність напруги на стенді.

Так як в лабораторний стенд входять компоненти, що легко загоряються, то в лабораторії передбачені засоби пожежогасіння [34]. Матеріали, які можуть загорітися в процесі експлуатації електроустаткування внаслідок перегріву, це є: ізоляція проводів; фарба, якою покриті корпуси машин; елементи кола керування і лабораторний стіл.

Основні засоби пожежогасіння, що знаходяться в лабораторії:

- вогнегасник повітряно-пінний типу ОВП-5;
- ящик із сухим піском.

4.2 Розрахунок захисного заземлення обладнання лабораторії

Роботи в діючих електроустановках, як до так і вище 1000 В входять до переліку робіт з підвищеною небезпекою, затвердженого наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26 січня 2005 р. № 15.

Розроблений лабораторний стенд на базі контролера STM32 сімейства мікроконтролерів від компанії STMicroelectronics для керування вуличним освітленням для об'єднаних територіальних громад на базі GSM-модуля є потенційним джерелом випадкового ураження студентів і технічного персоналу електричним струмом. Так як стенд буде експлуатуватися в новоствореній лабораторії «Систем управління електропостачанням», було прийнято рішення виконати розрахунок захисного заземлення цієї лабораторії.

Електробезпека експлуатації електричних установок (ЕУ) у разі виникнення напруги непрямого дотику і напруги кроку забезпечує захисне заземлення. *Захисне заземлення* – це заземлення точки або точок електричної системи та струмопровідних частин ЕУ з метою безпечного функціонування та використання [35]. Призначення захисного заземлення – усунення небезпеки ураження електричним струмом у разі порушення ізоляції і появи напруги на корпусі ЕУ. Принцип дії – перетворення замикання на корпус в однофазне замикання (замикання між фазним та нульовим проводами), яке здатне забезпечити спрацювання систем захисту і автоматичне від'єднання пошкодженої ЕУ від джерела живлення (ДЖ). Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) обмежують найбільші опори заземлення [36]:

- для електроустановок напругою до 1000 В:
- при сумарній потужності генераторів або трансформаторів в мережі живлення не більше 100кВт або 100 кВА – 10 Ом;
- в інших випадках – 4 Ом;

У мережах із заземленою нейтраллю до 1 кВ використання занулення і захисного заземлення зменшує потенціал корпусу до безпечної величини і забезпечує швидке та надійне вимикання пошкоджених ЕУ за рахунок спрацювання струмового захисту, оскільки струм замикання I_K в цьому випадку дорівнює сумі двох складових: струму I'_K через занулення і струму через захисне заземлення I''_K , а потенціал корпусу: $U_K = I''_K R > R$ [37].

Згідно ПУЕ, в установках вище 1000 В із малими струмами замикання на землю опір заземлюючого контуру (пристрою) повинен задовольняти умову:

$$10 \geq R_3 \leq \frac{250}{I_3} \quad (4.1)$$

де 250 - потенціал землі, В;

I_3 - розрахунковий струм замикання на землю, який протікає через заземлювач, А.

В нашому випадку заземлюючий пристрій при потребі може використовуватися для установок напругою вище 1000 В, а також для установок до 1000 В і для приєднання до заземлюючого контуру грозозахисту з метою захисту обладнання стенду. В цьому випадку згідно ПУЕ опір заземлення не повинен перевищувати 4 Ом:

$$R_3 \geq 4 \text{ Ом}$$

Знаходимо опір вертикально забитого в землю електрода:

$$R_{el} = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2e}{d} + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4t+l}{4t-l} \right) \right) \quad (4.2)$$

де ρ - опір землі 120 Ом;

l - довжина електрода, м;

t - відстань від центру електрода до поверхні землі.

$$R_{el} = \frac{120}{2\pi \cdot 5} \left(\ln \frac{2 \times 5}{0.012} + 0.5 \ln \frac{(4 \times 3.3 + 5)}{(4 \times 3.3 - 5)} \right) = 27.1 \text{ Ом}.$$

Знаходимо необхідну кількість вертикально забитих електродів

$$n = \frac{R_{el}}{\eta R_{don}}, \quad (4.3)$$

де η - коефіцієнт використання заземлювачів - 0,66.

$$n = \frac{27.1}{0.66 \times 4} = 10.3 \approx 11 \text{ шт}$$

Знаходимо опір з'єднувальної полоси

$$R_n = \frac{\rho}{2\pi e} \ln \frac{l_n^2}{0.5\pi n h}, \quad (4.4)$$

де l_n - довжина полоси, м ;

e - ширина полоси, м;

h - глибина заложення полоси, м.

$$R_n = \frac{120}{2\pi \cdot 120} \ln \frac{120^2}{0.5 \times 0.04 \times 0.8} = 6.3 \text{ Ом}$$

$$R_3 = \frac{R_{el}}{n\eta} = R / \left(\frac{R_{el}}{n\eta} + R_n \right) = \frac{27.1}{11 \times 0.66} 6.3 / \left(\frac{27.1}{11 \times 0.66} + 6.3 \right) = 2.3 \text{ Ом}$$

Цей опір менший від потрібного, і так як різниця не дуже велика і цим підвищуються умови безпеки. Отже, приймаємо цей результат як кінцевий.

4.3 Заходи безпеки життєдіяльності в електроустановках

З метою забезпечення нормальних умов праці і життєдіяльності технічного персоналу та студентів при роботі із розробленим лабораторним стендом були застосовні такі технічні захисні заходи: мала напруга, контроль пошкодження ізоляції, забезпечення недоступності струмопровідних частин, захисне заземлення і занулення, подвійна ізоляція і захисне відключення [37, 38].

Мала напруга - це напруга не більше 42 В між фазами і відносно землі, що застосовується для зменшення небезпеки ураження електричним струмом. У виробничих умовах ПУЕ передбачають застосування двох малих напруг 12 і 36 або 42 В. Напруга до 42 В включно повинна застосовуватися в приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних для живлення таких електроприймачів: ручних електрифікованих інструментів без подвійної ізоляції, переносних ламп, світильників місцевого стаціонарного освітлення з лампами накачування, світильників загального освітлення звичайної конструкції з лампами розжарювання, розміщених над підлогою на висоті менше 2,5 м. Напруга не вище 12 В повинна застосовуватися для живлення ручних переносних ламп в особливо небезпечних приміщеннях при особливо несприятливих умовах роботи: в обмежених умовах або при зіткненні працюючого з великими металевими заземленими конструкціями.

Електрична ізоляція - це шар діелектрика або конструкція, виконана з діелектрика, якими покривають поверхні струмопровідних елементів або якими струмопровідні елементи відокремлюють від інших частин.

В електроустановках застосовують такі види ізоляції:

робоча ізоляція - електрична ізоляція струмопровідних частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу і захист від ураження електричним струмом;

додаткова ізоляція - електрична ізоляція, передбачена додатково до робочої ізоляції для захисту від ураження електричним струмом на випадок пошкодження робочої ізоляції;

подвійна ізоляція - електрична ізоляція, що складається з робочої та додаткової ізоляції;

посилена ізоляція - поліпшена робоча ізоляція, що забезпечує таку ж ступінь захисту від ураження електричним струмом, як і подвійна ізоляція.

Блокування безпеки - це пристрої, що запобігають потраплянню технічного персоналу і студентів під напругу внаслідок помилкових дій. В

дипломній роботі було використано механічне, електричне і електромагнітне блокування.

Механічне блокування застосовується в електричних апаратах (рубильниках, пусках, автоматичних вимикачах), а також в комплектних розподільних пристроях.

Електрична блокування застосовується в технологічних електроустановках напругою до 1000 В і випробувальних стендах при будь-яких напругах. Блокування відключає напругу від електроустановки при відкриванні дверей огорожень і дверцят кожухів або при знятті кришок. Для відключення напруги служать блокувальні контакти, які можуть включатися безпосередньо в силове коло або в коло управління пускового апарату, якщо управління електроустановкою дистанційне.

Електромагнітне блокування (ЕМБ) вимикачів, роз'єднувачів і заземлювальних ножів широко застосовується при різних схемах з'єднання обладнання і забезпечує певну послідовність включення і відключення цих апаратів. ЕМБ дозволяє виключити виникнення небезпечних ситуацій: включення або відключення роз'єднувача під навантаженням, включення заземлювальних ножів на ділянку лінії під напругою, подачу напруги на заземлений ділянку лінії.

Крім того, в роботі розраховано та використано *захисне заземлення* (пункт 4.2 кваліфікаційної роботи), яке призначене для усунення небезпеки ураження електричним струмом у випадку дотику до корпусу та інших неструмопровідних частин електроустановок, які опинилися під напругою внаслідок замикання на корпус та інших причин.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було виконано розробку системи керування вуличним освітленням для об'єднаних територіальних громад на базі GSM-модуля з виготовленням експериментального зразка.

1. Виконано аналіз розумних систем вуличного освітлення, які дозволяють дистанційно керувати освітленням через мережу. регулювати яскравість, режими ввімкнення та вимкнення, а також контролювати статус та стан світильників. Це, в свою чергу, дозволить здійснити оптимізацію роботи освітлення відповідно до умов та потреб споживача.

2. Проведений аналіз показав, що кожен вид керування освітленням має свої переваги та недоліки, а вибір системи керування залежить від заданих умов та вимог. Правильне планування та використання новітніх технологій дозволяє підвищити енергоефективність та покращити якість, а недостатня якість підготовки приводить до невдалих результатів та фінансових втрат.

3. Розглянуто технологію розрахунку зовнішньої освітленості та виконано розрахунок системи вуличного освітлення м. Бучача.

4. В час постійного подорожчання енергоносіїв впровадження новітніх автоматизованих систем керування вуличним освітленням є реальним і достатньо ефективним інструментом енергозбереження, що дозволяє економити до 70% електричної енергії в порівнянні з традиційними системами управління вуличним освітленням.

5. Впровадження розробленої системи дозволить підвищити загальну надійність і стійкість до відмови системи освітлення.

6. Розроблена система автоматичного керування освітленням дозволяє не витрачати час на включення та вимкнення освітлення вручну, а також економити електроенергію при вимиканні освітлення за розкладом.

7. Попередні розрахунки показали, що система є в майже 10 раз дешевшою у порівнянні з аналогічними присутніми на ринку України системами керування освітленням як по вартості самої системи так і її обслуговування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Салтиков В.О. Освітлення міст: Навч. посібник.- Харків: ХНАМГ, 2009.– 221 с.
2. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, А.В. Праховник, С.П. Денисюк // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 5. – С. 52–67. <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/62229/08-Stogny.pdf?sequence=1>
3. Бікеєв Д.О., Копчиков О.М. Підвищення надійності електропостачання систем освітлення з використанням Smart-технологій в парковій зоні та зон відпочинку на прикладі дендропарку. IV науково-технічна конференція магістрантів НН ІЕЕ. 2021. С. 19–28
4. Пилипчук Р.В. Зовнішнє освітлення міста / Р.В. Пилипчук, Р.Ю. Яремук, В.В. Щиренко // Світло-люкс. – 2006. – №6. – С. 75–79
5. Автоматизовані системи управління вуличним освітленням. Url: <https://controlengrussia.com/otraslevye-resheniya/zhkh/asuno/> (дата звернення: 04.06.25).
6. Світлодіодні світильники – різноманітність моделей. – Режим доступу до ресурсу: <https://vse-e.com/ua/novosti/svitlodiodni-svitylnyky-rizni-modeli>
7. Road Safety by Improved road lighting: road lighting measurements and analysis / Jelena Armas, Juhan Laugis // Режим доступу: http://matrix.ene.ttu.ee/files/kuressaare2007/Kuressaare2007_83Armas-Laugis.pdf
8. Герба І.А., Якімішина В.В. Розробка системи автоматичного керування освітлювальними установками зовнішнього та внутрішнього освітлення на Донецькому електротехнічному заводі. [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://masters.donntu.org/2017/etf/gerba/diss/indexu.htm> (дата звернення 12.06.25).
9. Семків Ю.М., Андрійчук В.А., Касаркевич В.С. Світлове забруднення атмосфери: астрономічний аспект проблеми / Журнал «Світло люкс». – 2010.

10. Інтелектуальні системи управління. Експертні системи – основи проектування та застосування в системах автоматизації [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»/КПІ ім. І. Сікорського; уклад. Л.Д. Ярощук. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,56 Мбайт). – Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2019. – 136 с.
11. Матченко В.С. Інтелектуальна система управління зовнішнім освітленням // Харківський національний університет радіоелектроніки. - 2020
12. Оробчук Б., Іванків А. Адаптивна система керування режимами електропостачання. Актуальні питання розвитку агропромислового комплексу. ВП НУБІП України «Бережанський агротехнічний інститут». - Бережани, 2016
13. Електричне освітлення та опромінення: навч. посіб. для студентів вищ. навч. закл. / Р.В. Кушлик, В.Ф. Яковлев, Ю.М. Куценко, М.Л. Лисиченко, М.П. Кунденко, Ю.М. Федюшкою - Х.: ТОВ «Планета-прінт», 2016. – 332с.
14. Мисюк Ю.П., Зовнішнє освітлення міст та безпека дорожнього руху / Ю.П. Мисюк // Світлотехніка та електроенергетика. – 2010. – № 3-4. – С. 33- 39.
15. Оробчук Б.Я. Лабораторний комплекс для побудови систем телекерування і диспетчерського управління в електроенергетиці. Матеріали ХХ наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя (Тернопіль, травень 2017 р.) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль: ТНТУ, 2017. – С. 170-171
16. Іванова М.С. Інтелектуальна система управління в освітленні пішохідних переходів для підвищення енергоефективності [Текст] / М.С. Іванова, І.В. Олейнікова // Технології та інжиніринг. - 2021. - № 3. - С. 9-17
17. Козлов С.С. Підвищення ефективності експлуатації об'єктів електричних мереж за рахунок використання Smart Grid [Електронний ресурс] : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.14.02 : галузь знань 14 / Сергій Сергійович Козлов ; наук. керівник Гриб О. Г. ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків, 2021. – 201 с. – Бібліогр.: с. 149-167. – укр.

18. Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://intelilight.eu/intelilight-frb-110-intelligent-communicator/>
19. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Технічні норми. – Чинні з 28.02.2019. – К.: 2018. – 133с.
20. Оробчук Б., Терновий В. Підвищення надійності роботи силового обладнання підстанцій. Актуальні питання розвитку агропромислового комплексу. ВП НУБІП України «Бережанський агротехнічний інститут». - Бережани, 2017 р.
21. B. Orobchuk, I. Sysak, S. Babiuk, M. Karpinski, D. Jancarczyk. Development and implementation of a local area wireless network in the educational process on the basis of the dispatch control simulator // Przetwarzanie, transmisja i bezpieczeństwo informacji. ISBN 978-83-66249-55-4 // Wydawnictwo naukowe akademii techniczno - humanistycznej w Bielsku-Białej, 2020 https://www.engineerxxi.ath.eu/wp-content/uploads/2020/12/engineerxxi_2020_vol2_25.pdf
22. Гракіна О.М. Апаратно-програмний модуль керування освітленням на базі технології GSM: автореф. дип. роботи на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» : напрям підготовки 6.050102 «Комп'ютерна інженерія» /О.М. Гракіна, ЧНУ ім. Петра Могили. - Миколаїв, 2019. - 12 с.
23. Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://intelilight.eu/intelilight-fpm-402-lonworks-plc-compatible-electromagnetic-ballast-controller/>
24. Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://intelilight.eu/intelilight-fpe-220-lonworks-plc-compatible-electronic-ballast-controller/>
25. ДБН Б.2.2-5:2011. Благоустрій територій. – Чинний від 01.09.2012 - Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2012. – 61 с. – (Офіційне).
26. Садовий О. С. Електричне освітлення та електротехнології : курс лекцій / О. С. Садовий. – Миколаїв : МНАУ, 2015. – 91с
27. B. Orobchuk, I. Sysak, S. Babiuk. Intellectual system of street lighting control in a city // VI International Conference of Students, PhD Students and Young

- Scientists «Engineer of XXI Century»: Inzynier XXI Wieku Projektujemy Przyszlosc. - Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Bialej, December 2016, pp. 825-832
28. Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://intelilight.eu/intelilight-fpc-200-data-concentrator-smart-server/>
 29. «Інтелектуальні системи в електроенергетиці. Теорія та практика: навчальний посібник. / Стаднік М.І., Видмиш А.А., Штуць А.А., Колісник М.А. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. 332 с.
 30. Modbus Technical Resources [Electronic resource] // Modbus – Access mode: <https://modbus.org/tech.php>
 31. Orobchuk, B., Buniak, O., Babiuk, S., Sysak, I. Design of an intelligent system to control educational laboratory equipment based on a hybrid mini-power plant. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2023, 2(9-122), pp. 59–72. (Scopus ISSN 1729-3774)
 32. Розробка та реалізація мережних протоколів: Навчальний посібник [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» та 126 «Інформаційні системи та технології», спеціалізації «Інженерія програмного забезпечення інформаційно управляючих систем» та «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем»/ Б. Ю. Жураківський, І. О. Зенів; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 11,5 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 462 с.
 33. Лут М.Т. Охорона праці в галузі. Методичні вказівки щодо виконання розділу у дипломних проектах студентів зі спеціальності 7.091901 «Енергетика сільськогосподарського виробництва». К.: НАУ, 2000.-136с
 34. Основи охорони праці: підручник для студентів вищих навчальних закладів // За ред. д.т.н., проф. М.П. Гандзюка - К.: Каравела, 2003. - 408 с.
 35. Рекомендації щодо організації роботи кабінету промислової безпеки та охорони праці. Затверджені Головою Держгірпромнагляду 16.01.2008 р.
 36. Правила улаштування електроустановок. – Харків: «Форт», 2009. 770 с.

36. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання «Безпека в надзвичайних ситуаціях» / В.С. Стручок –Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., –156 с. Отримано з <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39196>
38. Дмитренко О. О. Розрахунок параметрів спрацювання захистів за струмом електричних мереж 6–35 кВ: Методичні вказівки. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2014. - 49 с.
39. Оробчук Б.Я., Буняк О.А., Бабюк С.М., Сисак І.М., Вакуленко О.О. Методичні вказівки щодо виконання та оформлення дипломної роботи. Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017 р.