

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)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Підвищення надійності системи міського зовнішнього освітлення
шляхом використанням технічних засобів

Виконав: студент 6 курсу, групи ЕТм-62
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

_____ Волос Р.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Нормоконтроль _____ Мовчан Л.Т.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Рецензент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

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)

« »

2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

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

студенту ВОЛОС Роману Анатолійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення надійності системи міського зовнішнього освітлення шляхом використанням технічних засобів

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

Затверджені наказом ректора від « 10 » листопада 2023 року № 4/7-1042

2. Термін подання студентом завершеної роботи травень, 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Статистичні дані про електричне навантаження та споживання мережі освітлення м. Борщів, схема електрична принципова електричних мереж освітлення, перелік світлотехнічного обладнання міської освітлювальної мережі

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунково-дослідницький розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

1. Актуальність теми, предмет і об'єкт дослідження, поставленні задачі та шляхи їх розв'язку

2. Телемеханічне та дистанційне керування мережами зовнішнього освітлення

3. Каскадна схема дистанційного керування

4. Елементи системи керування вуличним освітленням

5. Структурна схема автоматичної системи керування зовнішнім освітленням

6. Елементи устаткування інтелектуальної системи керування вуличним освітленням

7. Графіки дослідження роботи впровадженої системи керування вуличним освітленням

8. Загальні висновки до кваліфікаційної роботи

РЕФЕРАТ

Волос Р.А. Підвищення надійності системи міського зовнішнього освітлення шляхом використанням технічних засобів. 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТм-62. – Тернопіль: ТНТУ, 2024.

Стор. - 66; рис. - 24; табл. - 3; плакатів - 8; джерел – 42

У кваліфікаційній роботі запропоновано впровадження технічних заходів підвищення надійності систем зовнішнього освітлення, зокрема застосування інтелектуальних систем керування в мережах вуличного освітлення. Оскільки системи мереж зовнішнього освітлення є важливою складовою сучасної структури комунального господарства і вони входять в окрему технічну систему на потужних підприємствах, то без них важко здійснювати експлуатацію великих сучасних об'єктів, зокрема доріг, гребель, мостів і інших об'єктів.

У кваліфікаційній роботі також було проведено дослідження інтелектуальної системи керування вуличним освітленням, вибрано технічне оснащення для її впровадження та виконано розрахунок ефективності використання цієї системи в міській інфраструктурі міста Борщів.

Ключові слова: інтелектуальна система керування, система електропостачання, система зовнішнього освітлення, система автоматичного керування.

ABSTRACT

R. Volos. Increasing the reliability of the urban outdoor lighting system by using technical means. 141 - Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics. Ternopil Ivan Puluj National Technical University. Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering. Chair of Electrical Engineering, group ETm-62. – Ternopil: TNTU, 2024.

Page – 66; Illustrations – 24; Tables – 3; Blueprints – 8; Sources – 42

In the qualification paper, the introduction of technical measures to increase the reliability of outdoor lighting systems is proposed, in particular, the use of intelligent control systems in street lighting networks. Since outdoor lighting network systems are an important component of the modern structure of utilities and they are part of a separate technical system at powerful enterprises, it is difficult to operate large modern facilities without them, including roads, dams, bridges, and other objects.

In the qualification work, a study of an intelligent street lighting control system was also conducted, technical equipment was selected for its implementation, and the efficiency of using this system in the urban infrastructure of the city of Borshchiv was calculated.

Key words: intelligent control system, power supply system, outdoor lighting system, automatic control system.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 7 |
| 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ | 11 |
| 1.1 Огляд мереж зовнішнього освітлення | 11 |
| 1.2 Аналіз стану мереж зовнішнього освітлення | 13 |
| 1.3 Огляд систем керування зовнішнім освітленням | 17 |
| 1.4 Системи автоматичного керування вуличним освітленням | 20 |
| 1.5 Висновки до розділу 1 | 24 |
| 2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ | 25 |
| 2.1 Аналіз стану системи зовнішнього освітлення м. Борщів | 25 |
| 2.2 Впровадження технічних заходів підвищення надійності систем зовнішнього освітлення | 30 |
| 2.3 Застосування інтелектуальних систем керування в мережах вуличного освітлення | 33 |
| 2.4 Конструктивні переваги застосування інтелектуального керування вуличним освітленням | 34 |
| 2.5 Висновки до розділу 2 | 36 |
| 3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ | 37 |
| 3.1 Дослідження інтелектуальної системи керування вуличним освітленням | 37 |
| 3.2 Обладнання інтелектуальної системи керування вуличним освітленням | 39 |
| 3.3 Впровадження інтелектуальної системи зовнішнього освітлення | 44 |
| 3.4 Дослідження ефективності впровадження інтелектуальної системи керування освітленням у м. Борщів | 51 |
| 3.5 Висновки до розділу 3 | 54 |
| 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ | 55 |
| 4.1 Охорона праці як складова безпеки життєдіяльності | 55 |
| 4.2 Аналіз причин ураження людини електричним струмом | 56 |
| 4.3 Заходи безпеки життєдіяльності в електроустановках | 60 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ | 62 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ | 63 |

ВСТУП

Актуальність теми. Системи мереж зовнішнього освітлення є важливою складовою сучасної структури комунального господарства і вони входять в окрему технічну систему на потужних підприємствах, без них важко здійснювати експлуатацію великих сучасних об'єктів, зокрема доріг, гребель, мостів і ін [1].

Варто відмітити, що сучасні потужні мережі зовнішнього освітлення представляють собою достатньо енергоємні автоматизовані об'єкти, грамотна побудова яких у більшості випадків впливає на ефективність праці та комфорт життя населення. Тут необхідно підійти правильно до розрахунку їх розташування та оптимальної витрати енергетичних ресурсів при забезпеченні роботи систем освітлення, а також витрат на ремонт і обслуговування.

У значній частині міст України освітленість доріг є нижчою за норму в декілька раз, оскільки світильники є застарілої конструкцію, у них використовуються низькоефективні лампи розжарювання (з світловіддачею в 15 лм/Вт) та ртутні лампи (з світловіддачею в 60 лм/Вт). Частка застарілого устаткування разом зі світильниками, опорами і кабелями у нашій державі становить більше 65%, а наявні схеми електричного постачання не забезпечують необхідного рівня надійності обладнання зовнішнього освітлення [2].

Спостереження показують, що одна лампа вуличного освітлення споживає приблизно 250 Вт електроенергії, тобто за вісім годин роботи кожне джерело світла витрачає в межах двох кіловат електричної енергії, яке володіє низькою світловою віддачею та коротким терміном служби. Згідно експертних досліджень більше 80% діючих освітлювальних систем в Україні можна зробити значно ефективнішими.

Підвищення надійності системи мереж зовнішнього освітлення створює можливості забезпечення енергозбереження, безперебійності живлення і, відповідно, забезпечення безпеки на дорогах. Оскільки кількість дорожніх транспортних пригод та протиправних дій значно знижується при організації якісного освітлення міста.

На сьогоднішній день спостерігається проблема відсутності централізованого моніторингу обладнання та управління режимами роботи; також відсутня система режимів енергозбереження; надалі експлуатується морально застаріле та зношене обладнання; маємо неефективний облік електричної енергії (тобто однотарифний облік або розрахункові схеми оплати); присутній високий рівень експлуатаційних витрат; також існує можливість несанкціонованого втручання у процес управління; невирішені екологічні проблеми, зокрема утилізація ртутних ламп.

Мережі зовнішнього освітлення на даний час є одним із найбільших споживачів електричної енергії, відповідно модернізація мереж зовнішнього освітлення є одним із найбільш ефективних та обов'язкових до виконання енергозберігаючих заходів.

На сьогоднішній день відомі автоматизовані системи управління мережами зовнішнього освітлення, які надають можливість відстежувати та вимірювати поточні характеристики мережі та діагностувати дійсний стан обладнання та електричної лінії. Впровадження інтелектуальної системи управління зовнішнім освітленням дозволить забезпечити кращі умови дорожнього руху, безпеку пішоходів та підняти рівень архітектурної, туристичної і комерційної складової міста [3].

Інтелектуальна система управління вуличного освітлення є альтернативним рішенням для побудови системи віддаленого управління вуличним освітленням і яка передбачає можливість управління лампами та рівнем освітлення кожного вуличного світильника окремо. Також передбачено гарантію потрібної кількості світла при різних умовах. Також варто відмітити наявність зворотного зв'язку в режимі реального часу, тобто повідомлення про будь-які зміни, що відбуваються на лінії, зниження втрат енергії та використання передових інструментів оптимізації технічного обслуговування.

Мета і завдання досліджень. Метою кваліфікаційної роботи є розробка технічних заходів щодо підвищення надійності систем зовнішнього освітлення.

Для досягнення мети були поставлені та вирішені наступні завдання:

- проведено аналіз стану мереж зовнішнього освітлення;
- проведено аналіз основних систем управління зовнішнього освітлення;
- проведено аналіз надійності існуючих систем керування зовнішнього освітлення;
- виконано розробку технічних заходів щодо підвищення надійності систем зовнішнього освітлення;
- здійснено оцінку економічної ефективності заходів щодо вдосконалення існуючих мереж зовнішнього освітлення.

Об'єктом дослідження є міські мережі зовнішнього освітлення.

Предметом дослідження є технічні заходи щодо підвищення надійності систем зовнішнього освітлення.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- за аналізом існуючих технічних рішень автоматизованих систем освітлення запропоновано універсальний підхід до розробки системи автоматизованого керування освітленням, визначено її структуру, функціональність та компонентну базу;
- запропоновано методи впровадження інноваційних технологій та технічних засобів керування;
- запропоновано систему керування освітленням відповідно до вимог функціональності, енергетичної ефективності, простоти використання і можливості адаптації до практичних умов.

Практичне значення одержаних результатів роботи: запропоновані в роботі варіанти системи освітлення та розроблена на їх основі автоматизована система зовнішнього освітлення може бути реалізована в інтелектуальних системах управління вуличного освітлення з метою забезпечення ефективного використання електричної енергії та створення безпечних умов на дорогах.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи.

Основні положення роботи і її результати доповідалися на VII Міжнародній науково-технічній конференції «Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи», 29-31 травня 2024 р. (м. Тернопіль).

Публікації.

За результатами виконаних досліджень опубліковано 1 тезу доповідей «Зниження втрат електроенергії в розподільних мережах при застосуванні накопичувачів енергії». Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф., (Тернопіль, 29-31 травня 2024) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]: ТНТУ, 2024.

Структура роботи.

Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (42 найменування).

Загальний обсяг текстової частини: 66 сторінок, 3 таблиці, 24 рисунки.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Огляд мереж зовнішнього освітлення

Мережі зовнішнього освітлення представляють собою одну із основних складових сучасної структури комунального господарства і є особливою технічною системою великих підприємств. Також без них важко здійснювати експлуатацію великих сучасних доріг, мостів і інших будівельних споруд.

Сучасні потужні мережі зовнішнього освітлення є енергоємними автоматизованими об'єктами, правильна технічна побудова яких значною мірою впливає на ефективність праці та комфорт у сучасному житті. У цьому випадку необхідно вміти правильно розрахувати їх розташування та оптимальну витрату енергетичних ресурсів забезпечення роботи систем освітлення, а також витрати на проведення ремонту та обслуговування [4].

Залежно від розмірів та інших особливостей мереж зовнішнього освітлення можливі різні підходи до управління керуванням мереж освітлення та контролю за їх станом. Розрахунок необхідної кількості світильників зовнішнього освітлення виконують генеральні підрядники згідно затвердженого проекту і плану будівництва. При цьому керуються певним переліком документів та враховують наступні фактори [5]:

- тип населеного пункту;
- географічне розташування населеного пункту;
- категорія доріг та вулиць населеного пункту;
- тип та яскравість дорожнього покриття в населеному пункті;
- інтенсивність руху в населеному пункті.

Додаткове обслуговування засобів вуличного освітлення здійснюють у випадку відхилення від рекомендованих норм освітленості (світильники вийшли з ладу, перестали світити або слабо світять). Час роботи світильників регулюється місцевими світлотехнічними службами, які затверджують графік включення та вимкнення зовнішнього освітлення.

Відповідно до вимог будівельних нормативів освітлення вулиць, доріг та площ з регулярним транспортним рухом у міських зонах потрібно здійснювати, виходячи з норми, що наведені у [6]. При цьому середня яскравість покриття швидкісних доріг становить $1,7 \text{ кд/м}^2$ у межах міст і не менше $1,1 \text{ кд/м}^2$ поза містами на основних під'їздах до аеропортів, річкових та морських портів незалежно від інтенсивності руху транспорту.

У нічний час допускається зменшення рівня зовнішнього освітлення міських вулиць, доріг та площ при нормованій середній яскравості за рахунок включення не більше половини світильників, виключаючи при цьому вимкнення підряд розташованих або без відключення світильників з допомогою регулятора світлового потоку розрядних ламп високого тиску в установці рівня не нижче 50% її нормованого рівня зовнішнього освітлення.

Дозволено з метою отримання додаткової економії електричної енергії у вечірні та ранкові часи доби знижувати регулюванням рівень освітлення:

- на 30 відсотків при зменшенні інтенсивності руху до $1/3$ максимальної величини;

- на 50 відсотків при зменшенні інтенсивності до $1/5$ максимальної величини.

На вулицях та дорогах при нормованих величинах середньої яскравості і середньої освітленості, на пішохідних містках, автостоянках, пішохідних алеях та дорогах, внутрішніх, службових господарських та пожежних проїздах, а також на вулицях та дорогах сільських поселень часткове або повне відключення освітлення в нічний час допускається.

В установках зовнішнього освітлення потрібно використовувати світильники з розрядними джерелами світла високого тиску, у тому числі для установок освітлення вулиць та доріг із транспортним рухом – переважно з натрієвими лампами високого тиску [6].

1.2 Аналіз стану мереж зовнішнього освітлення

Велика кількість міст України має освітленість доріг нижче норми майже в 3 рази, а світильники є застарілої конструкції, в яких використовуються низької ефективності лампи розжарювання (з світловіддачею 12 лм/Вт) і ртутні лампи (з світловіддачею 55 лм/Вт). Доля застарілого устаткування разом зі світильниками, опорами і кабелями в Україні становить більше 60%. Схеми електропостачання не забезпечують необхідного рівня надійності установок зовнішнього освітлення.

У середньому одна лампа вуличного освітлення населених пунктів споживає біля 250 Вт, а за 8 годин роботи одне джерело світла витрачає 2 кВт електричної енергії, але володіє низькою світловіддачею та коротким терміном служби. Згідно експертних оцінок більше 80% освітлювальних систем в Україні можна зробити значно ефективнішими [7].

У багатьох населених пунктах для освітлення вулиць, фасадів будівель, транспортних магістралей та іншої інфраструктури в нічний час використовується система зовнішнього освітлення. Зазначені мережі є світильниками різних конструкцій, встановлених на опорах освітлення та живляться електричною енергією повітряними або кабельними лініями електропередачі. Штучне освітлення населених пунктів за рахунок електричної енергії застосовується з часу винаходу електричних ламп. За цей тривалий період усі елементи мереж зовнішнього освітлення отримали значні зміни, але базове компонування цих систем і більшості випадків має складові, що аналогічні початковому промислового використанню електричної енергії.

Для кріплення світильників зовнішнього освітлення та виконанню монтажу електричних проводів використовуються будівельні конструкції, елементи будівель та інженерних споруд. Але базову долю мереж вуличного освітлення виконано з допомогою опор ліній електропередачі. Мережі освітлення належать до ліній електропередачі напругою до 1 кВ і їх експлуатаційні та технологічні параметри регламентуються ПУЕ (Правилами влаштування електроустановок) [8]. У випадку, якщо освітлювальні мережі виконуються з використанням ізолюваного дроту, то опори освітлення зазвичай забезпечують відстань від дроту

до землі не менше 5 м, а під час монтажу мереж неізолюваним дротом відстань має бути не менше 6 м.

Використовують різні типи опор освітлення. В залежності від архітектурних або ландшафтних умов для монтажу мереж вуличного освітлення застосовують опори освітлення з конструкційної сталі, залізобетону або дерева. При використанні дерев'яних опор освітлення їх прикріплюють до несучого пасинка, встановленого в землі. Сталеві та залізобетонні опори освітлення зазвичай встановлюють в землі без застосування додаткових конструктивних елементів.

В більшості випадків мережі вуличного освітлення побудовані на базі існуючих силових ліній електропередачі. У цьому випадку загальна підвіска на опорах виконується з дотриманням встановлених габаритів до землі та споруд, а також відстані до проводів іншого класу напруги.

У системах зовнішнього освітлення використовуються світильники різних типів, потужності і принципу дії. Найбільш широко у міських мережах застосовуються газорозрядні лампи типу ДРЛ, також є багато світильників зовнішнього освітлення з лампами розжарювання та люмінесцентними лампами. Лампи ДРЛ володіють оптимальними характеристиками для роботи у відкритих умовах, але їм потрібні спеціальні пускові апарати. Для освітлення проспектів, великих вулиць та автомагістралей лампи розжарювання майже не використовуються, оскільки вони є неекономічними і є проблеми при виготовленні таких ламп великої потужності [9].

Щити зовнішньої реклами, декоративне підсвічування будівельних фасадів, інформаційні табло в більшості випадків також підключені до мереж вуличного освітлення, що суттєво збільшує їх навантаження та висуває підвищені вимоги щодо пропускної спроможності таких мереж, а також їх нормального захисту від струмів короткого замикання.

Надійність роботи вуличного освітлення повинна бути забезпечена певним комплексом заходів, серед них можна виділити наступні: використання посиленої ізоляції, застосування новітніх методів кріплення проводів до ізоляторів, використання опор освітлення з підвищеною стійкістю до атмосферних явищ і ін. Надійна та якісна система вуличного освітлення є базовою основою в

інфраструктурі населених пунктів та має забезпечити комфортне проживання населенню цих пунктів [10].

Вуличне освітлення призначене для підвищення оптичної видимості в нічний час або в умовах поганої видимості. Сучасне зовнішнє освітлення включає в себе освітлення доріг, проїжджої частини вулиць, тротуарів, площ, парків, дворів і прилеглих до них доріжок, розташованих у дворах дитячих і спортивних майданчиків. Також до зовнішнього освітлення відносять архітектурно-мистецьке освітлення фасадів будівель. Згідно статистичних даних погана освітленість трас збільшує кількість дорожньо-транспортних пригод, а в темних провулках ймовірність нападу та крадіжки є набагато вищою [11].

В залежності від призначення зовнішнє освітлення може бути як декоративним або функціональним. Кожен вид такого освітлення потребує застосування світильників певного типу, а при правильному підході до використання штучного освітлення його утилітарні та декоративні функції можна доволі успішно поєднувати.

Зовнішнє освітлення підрозділяється за типом використовуваних ламп на такі світильники:

- з лампами розжарювання (зараз практично не використовуються);
- із дуговими лампами;
- світлодіодні;
- індукційні нового покоління.

В даний час натрієві лампи (ДНАТ) і ртутні (ЛВД) є найбільш поширеними із-за своєї невисокої ціни та високого рівня світловіддачі. На рис. 1.1 приведено структуру ринку професійних ламп для зовнішнього освітлення в Україні за даними дослідження 2020 року Lighting Consulting на основі даних митної статистики та промислового виробництва [12].

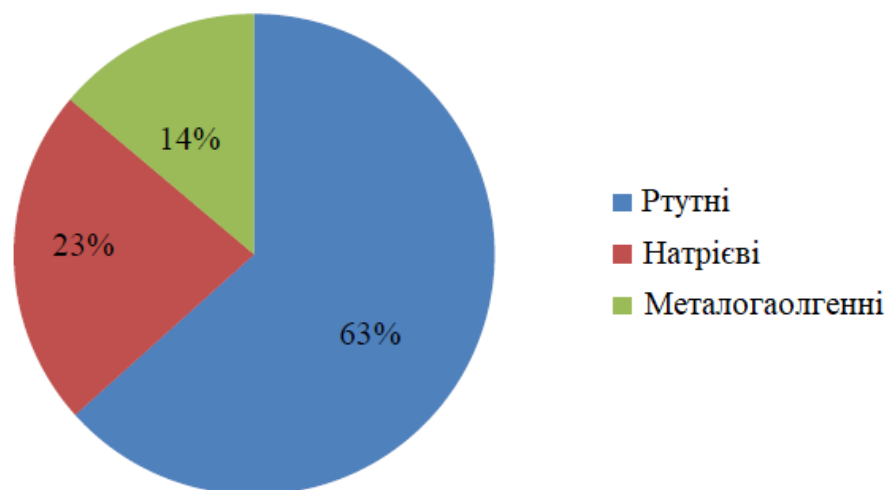


Рисунок 1.1 Структура ринку професійних ламп для зовнішнього освітлення в Україні

Вважається, що найбільш ефективним видом з енергозбереження вуличного освітлення є світлодіодні системи освітлення (рис. 1.2). Основна їхня перевага полягає в енергозбереженні, зокрема витрати на електричну енергію можна скоротити майже на 70%. Також використання світлодіодних світильників сприяє зниженню кількості дорожньо-транспортних аварій, оскільки освітленість дорожнього полотна стає кращою та більш рівномірною [13].



Рисунок 1.2. Світлодіодний світильник для вуличного освітлення

Варто зауважити, що встановлення світлодіодних світильників не вимагає певних зусиль у порівнянні зі світильниками з ДРЛ та ДНаТ, вони також не потребують заміни ламп і, відповідно, витрати на обслуговування відсутні.

Підвищення надійності системи мереж зовнішнього освітлення дозволить в майбутньому забезпечити енергозбереження, безперебійність живлення та забезпечити безпеку на дорогах, так як кількість дорожньо-транспортних аварій

та протиправних дій значно знижується при якісному освітленні міста. Мережі зовнішнього освітлення є одним із найбільших споживачів електричної енергії, тому їхня модернізація є одним із найбільш ефективних та обов'язкових енергозберігаючих заходів [14].

1.3 Огляд систем керування зовнішнім освітленням

Розрізняють телемеханічне та дистанційне керування мережами зовнішнього освітлення. Телемеханічне керування знайшло застосування у містах із населенням більше 50 тис. жителів (рис. 1.3), а дистанційне керування - у населених пунктах, де кількість жителів не перевищує 20 тис. У містах, де населення становить від 20 до 50 тис. жителів може бути застосоване як телемеханічне так і дистанційне керування.

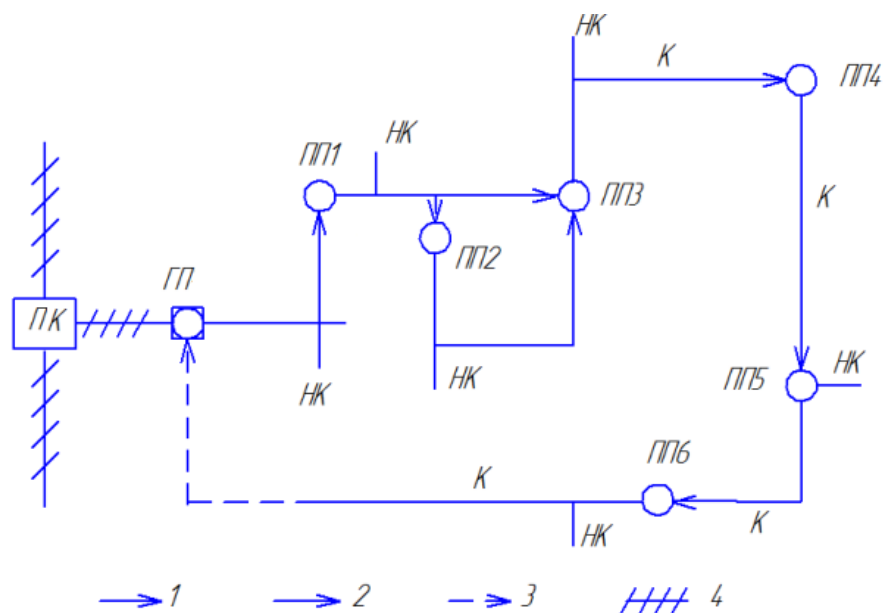


Рисунок 1.3. Телемеханічне керування мережами зовнішнього освітлення (ГП - головний пункт живлення; ПК – пульт керування; ПП1-ПП6 - проміжний пункт живлення; К - контрольовані напрямки; НК - неконтрольовані напрямки зовнішнього освітлення; 1 - лінія електроживлення світильників; 2 - лінія управління контакторами; 3 - лінія сигналізації; 4 – канал телемеханіки).

При телемеханічному керування повинні забезпечуватися команди на виконавчі пункти зовнішнього освітлення "Ввімкнути все освітлення", "Вимкнути (ввімкнути) частину освітлення", "Вимкнути все освітлення". На диспетчерський

пункт із виконавчих пунктів повинні передаватися такі сигнали: «Ввімкнено все освітлення», «Ввімкнено (вимкнено) частину освітлення»; «Вимкнено все освітлення», «Невідповідність стану освітлення команді, несправність у мережі зовнішнього освітлення та каналу зв'язку» [15].

Системи дистанційного керування передбачають керування комутаційними апаратами, що забезпечують роботу освітлення у вечірній та нічний час, головних пунктів живлення послідовно включених ділянок мережі зовнішнього освітлення та контроль їх стану за наявності напруги на кінці ділянки (рис. 1.4).

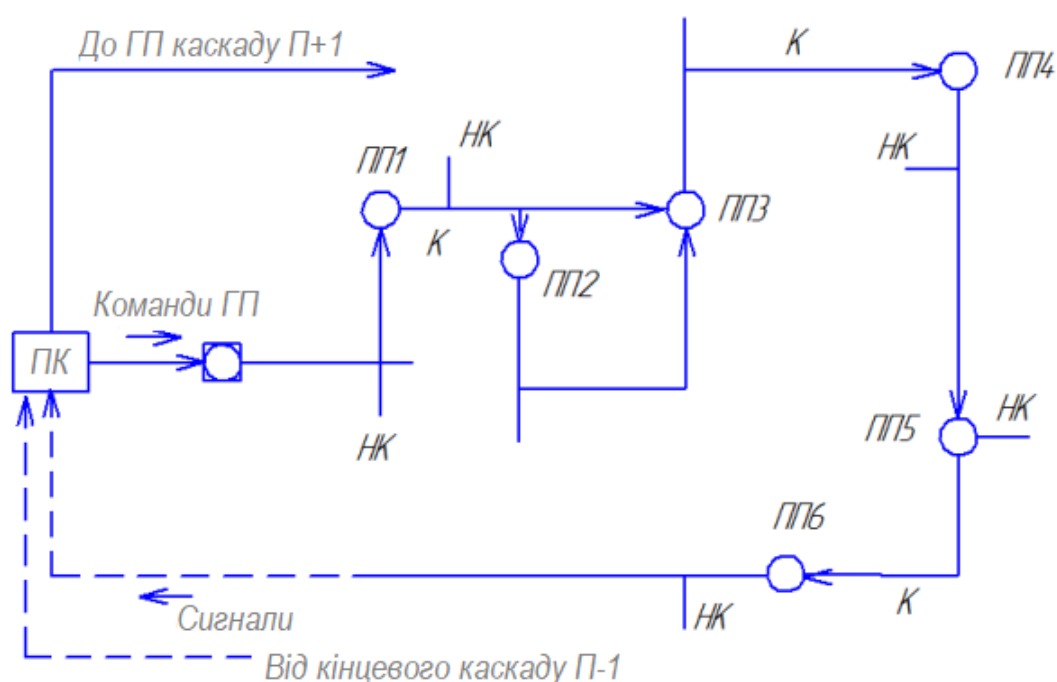


Рисунок 1.4. Дистанційне керування мережами зовнішнього освітлення (ГП - головний пункт живлення; ПК – пульт керування; ПП1-ПП6 - проміжний пункт живлення; К - контрольовані напрямки; НК - неконтрольовані напрямки зовнішнього освітлення).

Дистанційне керування освітленням здійснюється за допомогою магнітних пускачів в лініях живлення та групової мережі і така система включається з головного диспетчерського пункту. Сигналом на включення лінії, що живиться від підстанції, буде наявність напруги на кінці лінії, що живиться від попередньої підстанції.

В установках зовнішнього освітлення міст та населених пунктів на даний час широко застосовується каскадна схема дистанційного керування (рис. 1.5).

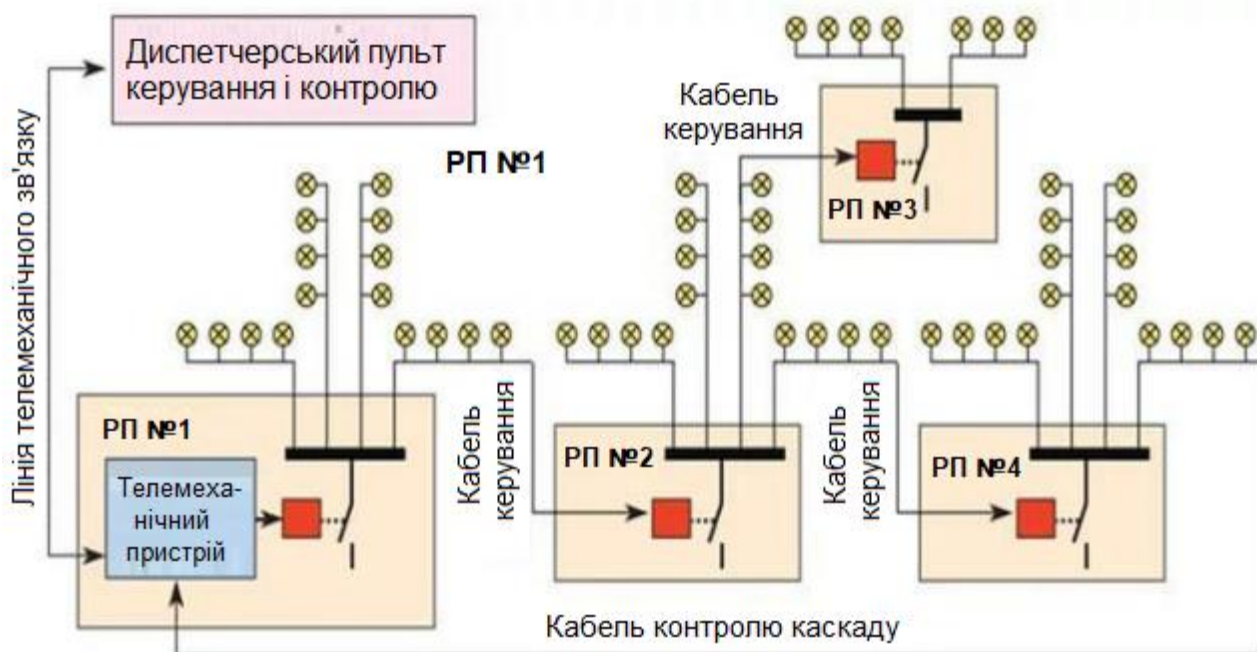


Рисунок 1.5. Каскадна схема дистанційного керування

У приведеній системі керування лініями зовнішнього освітлення здійснюється через підключення котушки магнітного пускача 2-ї ділянки в лінію 1-ї, котушки пускача 3-ї ділянки в лінію 2-ї, і т.д. Можлива і телемеханічна схема, при якій ввімкнення та вимкнення магнітних пускачів здійснюється з диспетчерського пункту за допомогою телемеханічних пристроїв [16].

Також можна використати автоматичне програмне або фотоавтоматичне керування. У цьому випадку в систему вводять магнітні пускачі та програмне реле, фотореле або фотоелектричний автомат, який здійснює контроль освітлення в залежності від часу доби та рівня освітленості.

При дистанційному способі управління освітленням є два режими роботи освітлювальних установок: вечірній та нічний. У вечірньому режимі увімкнені всі освітлювальні прилади, у нічному режимі працює тільки частина освітлювальних приладів, оскільки інтенсивність падає. Але при цьому коефіцієнт нерівномірності освітленості дорожнього полотна зростає до недопустимих меж.

1.4 Системи автоматичного керування вуличним освітленням

Розглянемо автоматизовану систему управління мережами зовнішнього освітлення, яка надає можливість відстежувати та вимірювати поточні характеристики мережі, а також здійснювати діагностику поточного стану обладнання та лінії. Система має рівні.

1-й рівень складається із шафи керування (ШК) для прямого керування зовнішнім освітленням, трифазних електричних лічильників та контролера. 2-й рівень представляє собою центр диспетчерського управління, де здійснюється контроль стану та керування зовнішнім освітленням. Отримані дані з ШК обробляються та аналізуються у диспетчерському центрі. Сигнал про стан зовнішнього освітлення в автоматичній системі керування передається через GSM/GPRS-канали, що дозволяє віддалено відстежувати стан системи.

Ввімкнення та вимкнення зовнішнього освітлення здійснюється у 2-х режимах - автоматичному і ручному. Отже, диспетчер має можливість керувати освітленням в аварійних ситуаціях або під час проведення ремонтних робіт. Автоматичне керування вуличним освітленням здійснюється системою на базі GSM модуля (рис. 1.6), яка за заданими режимами управління в залежності від пори року заощаджує електричну енергію. У випадку збою роботи система автоматично передає сигнал на пульт дистанційного керування та на особистий мобільний телефон оперативного персоналу, який відповідає за безперебійну роботу системи.

Новинкою інтелектуального енергозберігаючого освітлення є застосування світлодіодних світильників, датчиків руху та використання бездротового зв'язку між світильниками та диспетчерським пунктом. Особливістю цієї системи є радіозв'язок між сусідніми прожекторами, при появі об'єкта відбувається засвічування не тільки конкретного світильника поблизу об'єкта, але й наступного. При віддаленні від них об'єкта відбувається неповне зниження освітленості для створення зони безпеки, що дозволяє побачити інший об'єкт, який наближається. Також вуличні світильники можуть інформувати диспетчерський центр про існуючі проблеми у освітленні, що спрощує пошук несправності [17].

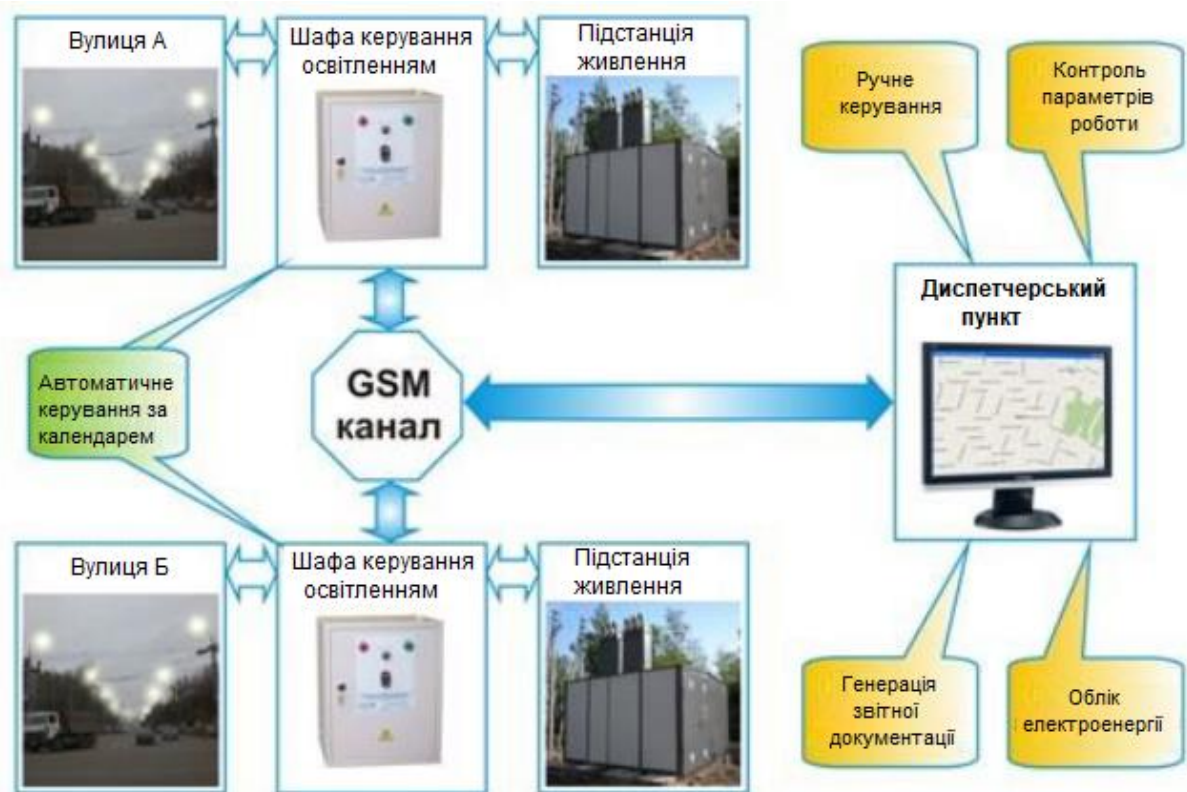


Рисунок 1.6. Елементи системи керування вуличним освітленням

Одним із методів автоматичного управління освітленням є використання системи глобального позиціонування. Для керування застосовується GPS-приймач та прилад для обчислення час сходу та заходу сонця. Враховуючи географічне розташування, контролер за допомогою GPS-приймача включає освітлення за 15 хв до заходу сонця та початку сутінків і вимикає за 10 хв до світанку у будь-якій точці координат земної кулі.

Використовується також і автоматичне керування за календарним графіком: ввімкнення та вимкнення відбувається залежно від календарної дати, робочих і вихідних днів тижня та добового часу. Такий спосіб прийнято використовувати для освітлення підприємств у вихідні, робочі та святкові дні.

Автоматичне керування можна здійснювати при допомозі зонального контролера чи сервера. Контролер формує сигнали для ввімкнення певної групи зовнішніх освітлювальних пристроїв або вуличних світильників. Для передачі сигналу на виконавчий елемент (електронний баласт) застосовуються наступні прийоми:

- слабострумові сигнальні лінії. Керування відбувається окремими лампами за цифровим протоколом управління, з використанням календарного графіка. Оскільки накопичуються помилки у звітності за пору року, то застосування цього баласту не завжди є доцільним. Система використовується в невеликих районах;

- радіоканали. Застосовується при груповому управлінні по радіоканалу на приймач у шафі керування. Оскільки присутні радіоперешкоди, то виникають проблеми з керуванням освітленням;

- GSM-канал. Керування здійснюється при допомозі телефонних СМС-повідомлень на контролер у шафі керування. До недоліків цього способу можна віднести завантаженість GSM-мережі та обмеженість зони охоплення стільникової мережі [18];

- передача ВЧ-сигналу силовим кабелем. Тут може виникнути помилкове керування через пошкодження кабельної лінії, тому для ефективного керування освітленням необхідно прокладати кабель до кожного світильника.

Розглянута система дозволяє найбільш ефективно вибирати режими роботи вуличного та внутрішнього освітлення в залежності від певних умов та поставлених задач на робочому об'єкті.

У загальному випадку автоматизована система управління зовнішнього освітлення дозволяє вирішити наступні задачі:

- здійснити повну автоматизація процесу управління освітленням з постійним контролем;

- відмовитися від постійної перевірки включення або відключення освітлення на місці;

- економить електричну енергію за рахунок зміни вечірнього, нічного та ранкового режимів управління в автоматичному режимі, також за допомогою команд диспетчера з диспетчерського пункту;

- здійснювати оперативне повідомлення диспетчера системою для виконання ліквідації аварійної ситуації у випадку невиконання функції «відключення освітлення»;

- інформацію даних з лічильників диспетчер отримує автоматично на комп'ютер у зручному вигляді з будь якого місця;

- миттєве отримання інформації про факти несанкціонованого підключення та розкрадання електричної енергії;
- автоматична діагностика роботи електромережі;
- інтеграція з іншими автоматизованими системами;
- суттєва економія коштів, оскільки система працює майже без обслуговування, а надійність компонентів дозволяє зберігати працездатність протягом тривалого часу.

Впровадження інтелектуальної системи керування зовнішнім освітленням дозволить забезпечити безпечні умови дорожнього руху, безпеку пішоходів та суттєво покращить стиль архітектурної, туристичної та комерційної продукції міста. Інтелектуальна система управління вуличного освітлення є одним із рішень для віддаленого управління вуличним освітленням з можливістю управління лампами та рівнем освітлення кожного вуличного світильника та гарантує необхідне освітлення за різних умов. Важливою ознакою є наявність зворотного зв'язку в режимі реального часу, що дозволяє отримувати повідомлення про будь-які зміни на лінії, знижувати втрати енергії та пропонувати новітні інструменти оптимізації технічного обслуговування [19].

Коли виникає потреба у зменшенні освітлення в певній частині вулиць або на протязі заданого проміжку часу, то інтелектуальна система керування зовнішнього освітлення допомагає відповідно зменшити світловий потік. Якщо рух пішоходів значно зменшується з 1 години ночі до 5 години ранку, то зменшення світлового потоку є правильним рішенням. В результаті отримуємо суттєве скорочення споживання електричної енергії та викидів вуглекислого газу, зменшення світлового забруднення та загальний вплив на довкілля. Як результат, світлове забруднення в загальному випадку буде значно зменшуватися, а це позитивно впливає на перелітних птахів та дику природу. Інтелектуальну систему управління зовнішнім освітленням можна змонтувати на будь-якому вуличному ліхтарі за допомогою магнітного або електронного баласту без додаткових інвестицій у мережу.

Варто також відзначити, що останнім часом ціна на енергоресурси постійно і швидко зростає та нема жодних ознак того, що найближчим часом це зростання

буде сповільнюватися. Інтелектуальна система управління зовнішнього освітлення працює у будь який час, що дозволяє практично майже повністю уникнути ризику аварій із-за її неполадок. Тобто більшість проблем освітлення буде усунуто ще до їх появи. В підсумку громадська безпека підвищується та зберігаються значні суми коштів, які можна витрати на інші проекти міста.

1.5 Висновки до розділу 1

1. Мережі зовнішнього освітлення є одним із найбільших споживачів електричної енергії, тому їх є одним із найефективніших та обов'язкових енергозберігаючих заходів. Виходячи з виконаного аналізу, можна дійти до висновку, що необхідно впроваджувати автоматизовані системи управління зовнішнім освітленням, які дозволять регулювати енергоспоживання, контролювати цілісність обладнання, своєчасно подавати сигнал оперативному персоналу про аварійні ситуації в мережі.

2. Ввімкнення та вимкнення зовнішнього освітлення відбувається у двох режимах: автоматичному та ручному. Отже, диспетчер має можливість керувати освітленням у аварійних ситуаціях або під час ремонтних робіт.

3. Підвищення надійності мереж зовнішнього освітлення дозволить забезпечити енергозбереження, безперебійність живлення та забезпечити безпеку на дорогах, оскільки кількість дорожньо-транспортних аварій та протиправних дій значно знижується при якісному освітленні міста.

4. Впровадження інтелектуальної системи керування зовнішнім освітленням дозволить забезпечити безпечні умови дорожнього руху, безпеку пішоходів та покращить архітектурну, туристичну та комерційну складову міста.

5. Тому метою кваліфікаційної роботи є розробка технічних заходів щодо підвищення надійності систем зовнішнього освітлення населеного пункту.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз стану системи зовнішнього освітлення м. Борщів

З метою підвищення оптичної видимості в нічний час або при умовах поганої видимості використовується вуличне освітлення. Сучасний варіант зовнішнього освітлення включає в себе освітлення доріг, проїжджої частини вулиць, пішохідних доріжок, бульварів, парків, дворів і прилеглих до тротуарів, дитячих і спортивних майданчиків у житлових дворах. Також до зовнішнього освітлення можна віднести елементи архітектурного і художнього освітлення фасадів будинків [20].

Роботи з ремонту та експлуатації вуличного освітлення центральних вулиць та вулиць місцевого значення і кварталів міських ділянок м. Борщів спрямовані на забезпечення постійної та надійної роботи електричних установок та ліній електропередачі зовнішнього освітлення. Ці роботи також спрямовані на запобігання їх позаплановому виходу з ладу як при нормальному режимі експлуатації під дією навколишнього середовища, так і при його поломці за допомогою вчасного виконання поточного ремонту, виявлення та усунення виниклих поломок. Все це направлено для підтримки необхідних світлотехнічних характеристик зовнішнього освітлення та поточних режимів графіків їх роботи, безпеки дорожнього руху, покращення естетичної привабливості, комфортної та безпечної форми життя населення.

Довжина кабельних ліній зовнішнього освітлення в м. Борщів 0,4 кВ становить 72,3 км, повітряних ліній – 44,9 км. Внутрішнє квартальне освітлення міських ділянок м. Борщів організовано за допомогою світильників марок ЖКУ та ЖТУ загальною чисельністю 658 шт. Магістральне освітлення міських ділянок м. Борщів виконано на базі світильників марок ЖКУ та ЖТУ у кількості 144 шт.

Споживання електроенергії здійснюється за допомогою установок зовнішнього освітлення магістральних вулиць, місцевих вулиць та міських кварталів м. Борщів, які забезпечують підтримку заданих світлотехнічних характеристик зовнішнього освітлення та графіки їх роботи, а також безпеку дорожнього руху, підвищують естетичну привабливість, комфорт та безпечну якість побуту містян.

Загальне споживання електроенергії установками зовнішнього освітлення складає 27356 кВт·год на рік. Утримання та експлуатація об'єктів зовнішнього освітлення вулиць та доріг здійснюється із коштів міського бюджету. Світло у дворах та внутрішніх квартальних проїздах знаходиться у балансі міської ради, виробничих підприємств та власників житлових приміщень. Витрати на придбання лампового освітлення під'їздів відшкодовують виробничі підприємства, товариства, а також власники житлових приміщень. На сьогоднішній день витрати на освітлення складають біля 10% від споживаної будівлею електричної енергії і витрати на придбання ламп віднесені до платежів місцевого населення.

Постачання електричної енергії для вуличного освітлення здійснює постачальник ВАТ «Тернопільобленерго» і його підрозділ Борщівські районні електричні мережі.

У місті здійснюється поступова і планова заміна білих ртутних ламп на жовті, оскільки вони володіють кращою світловіддачею та є економічнішими. Спочатку нові електричні світильники були встановлені на вулиці Тараса Шевченка та площі Незалежності, а на даний час їх вже є біля 90 відсотків у системі зовнішнього освітлення Борщова. Старі світильники були замінені сучаснішими на вулиці Михайла Грушевського, на центральних вулицях Степана Бандери і Січових Стрільців, на вулиці Ярослава Кондри, а також по вулиці Лисенка і Соломії Крушельницької та частково по вул. Нічлава і Кут. Загалом у 2022 році у місті планувалося замінити 350 світильників, які розташовані уздовж центральних доріг та у внутрішніх квартальних проїздах, але початок війни змінив плани, тому обсяг робіт значно скоротився. Але фахівці міської ради планують знайти додаткові кошти для встановлення більш сучасних білих світлодіодних світильників, які кращі в експлуатації хороші та значноощадні.

Місто Борщів було сформоване з декількох відокремлених за планом районів без визначеного історичного центру, що відобразилося на вуличній і дорожній мережі у вигляді лінійно-вузлової. Лінійність зв'язків можна пояснити наявністю однієї транспортної лінії, що з'єднує між собою окремі частини міста від села Мушкатівка до району колишнього летовища. Центральний район міста і район Кут пов'язані між собою вулицею Нічлава з півдня і вулицею Кут з півночі та

вулицею Ярослава Кондри до колишнього летовища. На сьогоднішній день визріла нова ідеологія щодо утримання, ремонту та сучасного будівництва центрального та поквартального освітлення міста. При застосуванні новітніх технологій, матеріалів та обладнання можна буде привести освітлення міста до сучасних вимог, а також покращити естетичний вигляд міста. Сьогодні велика кількість діючих електричних мереж зовнішнього освітлення мають потребу в реконструкції та капітальному ремонті. Для приведення стану освітлення міста відповідно до норм природного та штучного освітлення потрібно вирішити наступні завдання [21]:

- розробити комплексну економічно ефективну стратегію розвитку для з центрального та поквартального освітлення;
- розробити згідно діючих норм і правил дієвий механізм для проведення робіт з реконструкції, модернізації, капітального ремонту і впровадження енергозберігаючих технологій з використанням екологічних безпечних матеріалів;
- задіяти механізм стимуляції інвестицій та ініціативи у сфері реконструкції на базі сучасних ринкових правил;
- провести своєчасний якісний, капітальний ремонт та реконструкцію електричних мереж зовнішнього освітлення міста Борщів.

У 2016 році комунальним підприємством «Борщівська житлово-експлуатаційна дільниця №1» було проведено реконструкція вуличного освітлення по вулиці Я. Кондри (тендер UA-2016-11-11-000611-b). Також відділом енергетики, ЖКГ та зв'язку мерії м. Борщів та відділу економіки було розроблено Програму «Капітального ремонту, реконструкції, модернізації та магістрального освітлення м. Борщів до 2025 року». Базовий обсяг фінансування розробленої Програми передбав залучення бюджетних коштів, але у 2022 році у зв'язку з війною та дефіцитом бюджету цю Програму було тимчасово відкладено.

Наразі офіційно затвердженого плану модернізації мереж зовнішнього освітлення центральних вулиць та внутрішніх кварталів м. Борщів, які знаходяться у його муніципальній власності, нема.

У період 2018 року згідно плану реалізації робіт з ремонтно-експлуатаційного обслуговування ліній електропередачі та електроустаткування зовнішнього освітлення, а також проєкту що благоустрою внутрішніх квартальних територій було проведено капітальний ремонт вуличного освітлення по вул. Петлюри та Паркова (на суму 242,2 тис. грн.), капітальний ремонт вуличного освітлення по вул. Підлісна (на суму 257,6 тис. грн.), придбано та встановлено камери відеоспостереження по вул. Я. Кондри (на суму 60,0 тис. грн.), виконано поточний ремонт вуличного освітлення в районі масиву цукрового заводу (на суму 10,5 тис. грн.). Усі роботи здійснювалися рахунок коштів міського бюджету.

У 2019 році міською владою були передбачені кошти на реконструкцію магістральних та внутрішніх квартальних мереж освітлення в межах 75 відсотків від запланованих витрат на поточне утримання існуючих електромереж та електричного устаткування зовнішнього освітлення за рахунок проведеного тендеру. У період 2019 року заплановано було виконати заміну 350 світильників, 2500 метрів СП, змонтувати 2 пункти живлення (ПП) та диспетчерські пункти управління зовнішнім освітленням на базі апаратно-програмного комплексу «Стріла» (м. Тернопіль), але у зв'язку з урізанням бюджету реалізація цього плану не була виконана у повному обсязі. Починаючи з 2019 року були проведені роботи зі повною заміною світильників марки РКУ-400 на ЖКП-250 по вулиці Нічлава і вулиці Кут, на ділянці автодороги по вул. Володимира Великого до диспетчерського пункту Борщівського цукрового заводу, по вул. Степана Бандери (район підстанції Борщів 110/35/10), а також частково по вул. Січових Стрільців (район Борщівського АТП-16138).

У запланованих обсягах виконання робіт з реконструкції електричного освітлення міською радою міста Борщева разом із підрядними організаціями здійснюється виконання робіт (окрім поточної експлуатації), які пов'язані з впровадженням новітніх технологій та електричного обладнання з метою зниження витрат на споживання електроенергії. Зазначені роботи передбачають наступне:

- виконання заміни електросвітильників типу РКУ400 на РКУ250 та РТУ125 на ЖТУ100 або ЖТУ70;

- здійснення переходу диспетчеризації із застарілого устаткування на базі комплексу ПТЗО (пристрій телеуправління зовнішнім освітленням) на автоматизовану систему диспетчерського керування «Стріла», яка може передавати сигнал управління зовнішнім освітленням по наявних нульових проводах та бронєю кабельних ліній 10/6/0,4 кВ;

- проведення заміни неізолюваного проводу марки А-25 мм² та А-35 мм² на СП (самонесучий ізолюваний провід).

Станом на сьогоднішній день коефіцієнт освітленості центральних вулиць та внутрішніх квартальних територій міста Борщів відповідає тим параметрам, які прописані в договірних зобов'язаннях в межах фінансування проведення робіт з реконструкції електричного освітлення.

2.2 Впровадження технічних заходів підвищення надійності систем зовнішнього освітлення

Заходи, які пропонуються впровадити для підвищення надійності зовнішнього освітлення, в подальшому дозволять забезпечити такі умови:

- підтримувати в технічно справному стані об'єкти та електромережі зовнішнього освітлення;

- ліквідувати аварійні ситуації на обладнанні та електромережах інженерної структури;

- підтримувати в технічно справному експлуатаційному стані вуличні зовнішні мережі освітлення;

- підвищити стан естетичної привабливості населеного пункту та якість життя його громадян;

- створити безпечні та сприятливі умов проживання населення на території м. Борщів.

Впровадження світильників з енергоефективними лампами дозволить знизити споживання електричної енергії в системі електричного освітлення, а енергетичний, економічний та екологічний ефект від їх застосування в основному залежить від електричної потужності системи електричного освітлення та від світлової віддачі згаданих ламп.

Застосування світильників із відбивачами дозволяє використати цей захід з метою зниження споживання електроенергії системами діючого електричного освітлення. Більшість типів електричних ламп, що використовуються в теперішніх світильниках, в основному випромінюють загально спрямоване випромінювання і частина цього світлового випромінювання поглинається самим корпусом світильника. Тому з метою зниження частки поглиненого світлового випромінювання світильники зазвичай комплектують відбивачами різних типів, наприклад, параболічним, плоским листовим, М-подібним або асиметричним. Рефлектори освітлювальних приладів використовуються в одному випадку для збільшення коефіцієнта корисної дії світильника та зміни його частки світлового потоку, який спрямований в нижню півсферу світильника, а в іншому випадку - для формування світлового випромінювання, що має максимальну інтенсивність у визначених тілесних кутах до оптичної осі світильника. Відбиваюча здатність рефлектора який має дзеркальну, матову або перфоровану поверхню в основному відображає тип світлового розподілу світильника, а форма відбивача відображає тип форми кривої сили світла, тобто визначає величину значення максимальної та мінімальної освітленості у вертикальній та горизонтальній площині того об'єкта, який освітлюється.

З метою отримання найбільшої енергетичної ефективності пропонується використовувати автоматичне керування освітленням за допомогою фотоелектричних давачів, яке здійснює ввімкнення групи світильників в залежності від зміни природного освітлення.

На рис. 2.1 приведено автоматизовану систему керування мережами зовнішнього освітлення, з допомогою якої можна здійснювати контроль та вимірювати поточні значення мережі, а також проводити діагностику поточного стану обладнання та лінії. Автоматизована система керування складається з 2-х рівнів.

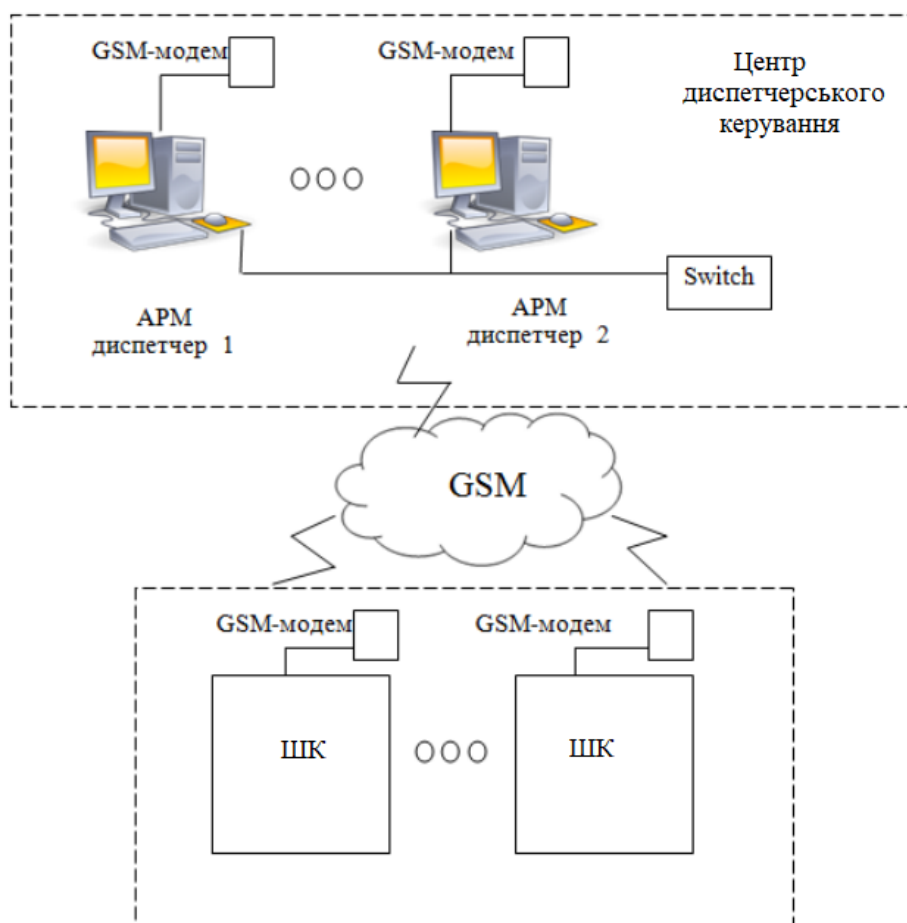


Рисунок 2.1 Структурна схема автоматичної системи керування зовнішнім освітленням

Перший рівень представляє собою шафи керування (ШК) для здійснення безпосереднього керування вуличним освітленням і які мають трифазні електричні лічильники та контролер. Другий рівень представляє собою центр диспетчерського керування, де здійснюється контроль стану та керування вуличним освітленням. Дані, що поступають з шафи керування, в подальшому проходять обробку та аналіз у диспетчерському пункті керування. За допомогою GSM/GPRS-каналів передається сигнал про стан вуличного освітлення в автоматичну систему керування. Такий підхід надає можливість дистанційно відстежувати робочий стан системи керування. Ввімкнення та вимкнення вуличного освітлення може здійснюватися у двох режимах: в автоматичному та в ручному. Внаслідок цього диспетчер володіє можливістю здійснювати керування системою освітлення під час аварійних ситуацій або під час проведення ремонтних робіт.

Впровадження автоматизованих систем керування замість дистанційних чи телемеханічних надає можливість здійснювати контроль енергоспоживання, моніторити стан обладнання, а також своєчасно надавати інформацію оперативному персоналу про виниклі аварійні ситуації в мережі. Завдяки застосуванню вище перерахованих заходів можна буде забезпечити безперебійне живлення і, відповідно, забезпечити систему безпеку на дорогах, так як кількість дорожніх транспортних аварій та протиправних дій суттєво знижується при якісному освітленні населеного пункту [22].

2.3 Застосування інтелектуальних систем керування в мережах вуличного освітлення

Застосування інтелектуальних систем керування для вуличного освітлення дозволяє забезпечити більш безпечні умови дорожнього руху і безпеку пішоходів, суттєво підняти архітектурний рівень, а також туристичну та комерційну складову міста. Варто відзначити, що така система є доволі дорогими, але значна частина коштів державного фінансування йде на потреби вуличного освітлення.

Використання інтелектуальної системи управління вуличним освітленням може бути варіантом для здійснення віддаленого керування вуличним освітленням, що надає можливість керувати лампами та рівнем освітлення кожного окремого вуличного світильника. Тут також можна отримати необхідну кількість світла при різних умовах. Варто також відмітити наявність зворотного зв'язку в реальному режимі реального часу, тобто інформування про різні зміни, що виникають на лінії освітлення, а ще зниження втрат електроенергії та використання новітніх інструментів для оптимізації технічного обслуговування [23].

При застосуванні інтелектуальної системи керування зовнішнім освітленням отримуємо можливість керувати рівнем освітленості. Відповідно, процес індивідуального регулювання яскравості та ввімкнення/вимкнення світильників вуличного освітлення стане значно простішим. В результаті отримуємо можливість вибору попередньо запрограмованих графіків, здійснення планування графіка самостійно або в ручному режимі керувати кожним окремим вуличним

світильником відповідно до вибраних потреб. Крім того, кожна лампа буде вмикатися без мерехтіння, яке викликане стрибками напруги, а мережа освітлення працюватиме 24 години на добу.

Інтелектуальна система керування зовнішнього освітлення дозволяє зменшити інтенсивність освітлення, коли освітлення вулиць необхідно зменшити протягом певного проміжку часу або у вибраній області. Якщо, наприклад, рух пішоходів суттєво зменшується з 1-ї години ночі до 5-ї години ранку, то зменшення інтенсивності освітлення є правильним рішенням. Це дозволяє суттєво скоротити споживання електричної енергії та викидів вуглекислого газу, а також зменшити світлове забруднення та загальний вплив на оточуюче середовище. Інтелектуальну систему управління зовнішнім освітленням можна легко закріпити до будь яких вуличних світильників за допомогою магнітних або електронних баластів, не вкладаючи додаткові кошти у електромережу [24].

Контролери інтелектуальної системи керування вуличним освітленням можна встановити всередині корпусу світильника або всередині лампи, а пристрої зв'язку розмістити в шафах живлення цих світильників. В результаті така система буде здійснювати передачу інформації між лампами та шафами живлення з використанням будь якого варіанту IP-протоколів, використовуючи наявні комунікації між шафами живлення та системними процесорами [25].

2.4 Конструктивні переваги застосування інтелектуального керування вуличним освітленням

При застосуванні інтелектуальної системи ввімкнення/вимкнення, вибіркового зменшення інтенсивності освітлення та ефективного управління електроспоживанням, витрати електричної енергії можна знизити до 40%. Відповідно, загальні експлуатаційні витрати можуть бути знижені до 45% за рахунок наступних заходів:

- зменшення інтенсивності вуличного освітлення під час низького трафіку та виключення у необхідний для споживача час;
- шляхом контролю споживання електроенергії та зменшення її втрат;

- продовження терміну експлуатації обладнання за рахунок зменшення інтенсивності освітлення;
- прогнозування та запобігання поломок устаткування за рахунок контролю в реальному часі 24 години на добу;
- формування достовірної інформації про несправність у технічному відділі, зокрема детальна інформація про виниклу проблеми, точне місце її знаходження;
- скорочення витрат на обслуговування шляхом візуального контролю терміну служби устаткування.

В останні десятиліття вартість енергоресурсів зростає з постійною швидкістю і немає жодних ознак того, що найближчим часом це зростання буде мати темп на сповільнення.

Також спостерігаються темпи зниження світлового забруднення та викидів вуглекислого газу за рахунок зниження втрат електричної енергії і, відповідно, кількості випущеного самого вуглекислого газу. Інтелектуальна система керування вуличним освітленням повинна допомогти зменшити технологічний вплив міста на оточуюче середовище, а також задовольнити невпинно зростаючі вимоги екологічних норм. Крім того, варто також відмітити загальне значне зменшення світлового забруднення, що значно впливає на зграї перелітних птахів та дику природу.

Інтелектуальна система управління зовнішнього освітлення може працювати у будь який час доби, що дозволяє практично майже повністю усунути ризик виникнення аварій внаслідок несправності системи освітлення. Значна кількість проблем освітлення виявляється та усувається ще до того моменту, коли споживач може їх помітити. В загальному підвищується громадська безпека, а також йде економія значної кількості фінансових коштів, які можна правити на реалізацію інших проектів міста.

Переваги інтелектуальної системи керування можуть бути наступними:

- з зв'язок можна реалізувати через кабелі живлення;
- не вимагає додаткової інфраструктури та виконання будівельних робіт;
- відсутні завади від інших мереж незалежно від щільності міських забудов;

- присутнє оптимальне використання структурованих вуличних освітлювальних електромереж;
- робота системи здійснюється в режимі реального часу, виконується постійний контроль та збір даних з обладнання;
- постійно відкриті комунікаційні протоколи;
- наявна сумісність із іншими компонентами устаткування, передбачена можливість інтеграції з існуючими та впроваджуваними системами міської інфраструктури;
- передбачена можливість швидкої та економічної реалізації проєкту [26].

2.5 Висновки до розділу 2

Проведені в цьому розділі проєктно-конструкторські дослідження показали, що потрібно кардинально змінити підхід до проведення ремонту та сучасного облаштування магістрального та внутрішнього квартального освітлення міста Борщів. Зокрема, впровадження сучасних технологій, матеріалів та устаткування надає змогу привести освітлення міста до необхідних нормативів, а також покращити естетичний вигляд міста. На сьогодні переважна більшість діючих електромереж зовнішнього освітлення мають потребу в реконструкції та капітальному ремонті.

Запропоновані заходи з метою підвищення надійності вуличного освітлення дозволять забезпечити наступні критерії:

- 1) утримувати в технічному справному стані об'єкти та мережі вуличного освітлення;
- 2) усунути аварійні ситуації на устаткуванні та інфраструктурних інженерних мережах ;
- 3) підтримувати в технічному справному робочому стані мережі зовнішнього освітлення міста;
- 4) підвищити естетичну привабливість міста та якісний добробут населеного пункту;
- 5) створити безпечні та сприятливі умови проживання місцевої громади на території міста Борщів.

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Дослідження інтелектуальної системи керування вуличним освітленням

Інтелектуальна система керування вуличним освітленням не вимагає проведення заміни її складових елементів і має можливість здійснювати керування та моніторинг за всіма лампами вуличних освітлювальних установок, включаючи сюди також декоративне та архітектурне освітлення. Контролери цієї системи підходять до всіх типів світлодіодних та газорозрядних ламп високої інтенсивності (наприклад, для ртутних ламп, металогалогенних ламп та натрієвих ламп), також з використанням магнітних або електронних баластів. Зазначена система може бути легко змонтована та швидко адаптована до діючої наявної інфраструктури кабелів, опор, баластів, а також та ламп розжарювання [27].

Контролери керування встановлюються всередині або зовні світильників вуличного освітлення, а комунікаційні пристрої зазвичай розміщуються всередині шафи живлення. Передачу даних реалізується між лампами та шафами живлення із застосуванням будь якого IP-протоколу на базі реальних комунікацій між шафами та системою управління програмним забезпеченням. Циклічні механізми і вбудований розширений сигнал керування дозволяють впевнено здійснювати спілкування навіть на найдовших мережах зовнішнього освітлення.

Інтелектуальна система керування зовнішнього освітлення є одним із варіантів рішенням для дистанційного керування вуличним освітленням і надає детальні можливості для керування лампами різного рівня освітленості у населеному пункті та підтримує потрібну кількість освітлення за будь яких необхідних для цього умов. Ще однією важливою її ознакою є доволі точний зворотній зв'язок в режимі реального часу, що інформує про різні зміни в системі. Ця система може здійснювати керування практично безмежною кількістю ламп зовнішнього освітлення.

Впровадження інтелектуальної системи управління зовнішнім освітленням не вимагає великих фінансових вкладень, оскільки її можна легко адаптувати до наявної інфраструктури міського освітлення. Пропоновану систему можна реалізувати без суттєвих змін в конструкції та без виконання будівельних робіт. Оскільки

інтелектуальна система керування зовнішнім освітленням використовує багато давачів та доповнень відповідно до розробленого проєкту, то вона є доволі гнучкою при використанні. Варто зазначити, що при використанні відкритих протоколів, система може бути адаптована до зовнішніх компонентів та інтегруватися з іншими діючими та запланованими міськими системами. Зазначена система керування дозволяє дистанційно здійснювати моніторинг та керувати загальною системою вуличного освітлення з робочого місця диспетчера або за допомогою спеціального мобільного додатка.

Перевагою інтелектуальної системи керування зовнішнім освітленням є те, що вона має відкритий протокол обміну даними і підключення та керування цією системою не є складною процедурою. Інтелектуальну систему керування можна розглядати в якості модернізації електромережі, оскільки вона сумісна з типовими електромагнітними баластами вуличних світильників, а також сучасними електронними баластами. В подальшому система може також використовуватися в якості бази для встановлення в подальшому окремих додатків, зокрема екологічних, транспортних, контролю шуму, світлофорів та такої відомої на сьогодні технології як Smart Grids.

Використання відкритих протоколів сприяє можливості проведення модернізації та розширення. Варто усвідомити, що міста розвивається доволі динамічно і багато проєктів втілюються один над одним. Необхідно звернути увагу на такий момент, що всі технічні системи повинні працювати разом, незважаючи на те, що вони поставляються від зовсім різних виробників. Громада міста отримає можливість використовувати перевагами сучасних технологій без обмеження в своїй роботі патентованих виробів.

Починаючи від лічильника споживача, далше через мережу доставки від виробника і до виробничих потужностей система Smart Grid демонструє точні характеристики кожного підключеного елемента, дозволяє здійснювати керування обладнанням та об'єднувати контроль споживання. Усі споживачі випробовують різні способи використання енергії на стійкій основі і в умовах недостатніх ресурсів виробництво енергії стає надто дорогим процесом, а альтернативні джерела ще не стали такими успішними. В цьому випадку необхідно оптимізувати

витрати, враховуючи при цьому інтереси споживачів, тобто ефективність тут виступає ключовим чинником.

Smart Grid має зробити наступний необхідний крок еволюції для розподілу комунальних послуг, оскільки він пропонує повну систему управління мережею. Система Smart Grid дозволяє виконувати свої дії через двонаправлений зв'язок, який при допомозі інтелектуальної системи керування може працювати на діючих силових кабелях вуличного освітлення. В підсумку, необхідні дані можна буде передавати з будь якого місця електромережі до центрального диспетчерського пункту без певних додаткових витрат та коштів [28].

Варто зазначити, що на даний час робота комунальних мереж майже не змінилася з часу їх створення. Використовуючи давачі, перемикачі та широкі можливості передачі інформації через структуру електричної мережі можна в реальному часі вимірювати споживані та наявні ресурси. Через систему Smart Grid можна здійснювати під'єднання всіх необхідних пристроїв та обмін інформацією про режими споживання. Наприклад, приватні споживачі отримують можливість вимкнути обладнання дистанційно або побачити, скільки електричної енергії це обладнання використовує. Перевірку лічильників також можна виконувати дистанційно, а ще всі витрати енергії та несправності можна буде виявити та усунені в короткий термін.

3.2 Обладнання інтелектуальної системи керування вуличним освітленням

На сьогоднішній день уже реально можна здійснювати керування та моніторинг будь якого освітлювального приладу вуличних освітлювальних установок. Інтелектуальна система сумісна з різними типами баластів (електромагнітними та електронними) і також може здійснювати керування будь яким освітленням, включаючи декоративне та архітектурне.

На рис. 3.1 показано електронний контролер FPX-220, який використовується для керування декоративним і архітектурним освітленням, лампами потужністю до 0,5 кВт. Це пристрій є універсальним і працює з різними типами ламп або електричними пристроями завдяки можливості регулювання живлення підключеного пристрою.



Рисунок 3.1. Електронний контролер FPX-220

На рис. 3.2 показано електронний баласт-регулятор FPE-220/220D, який використовується для створення дистанційного керування вуличними освітлювальними приладами. Цей електронний баласт-регулятор має сумісність із лампами потужністю до 0,5 кВт, у яких використовується електронний баласт [29].



Рисунок 3.2. Електронний баластний регулятор FPE-220/220D

На рис. 3.3 показано електромагнітний баласт Controller FPM-402, який використовується для створення дистанційного керування вуличними освітлювальними приладами. Цей електромагнітний баласт має сумісність із лампами потужністю до до 0,4 кВт, у яких використовується електронний баласт [30].



Рисунок 3.3. Електромагнітний баласт Controller FPM-402

На рис. 3.4 показано електромагнітний баласт Controller FPM-152, який використовується для створення дистанційного керування вуличними освітлювальними приладами. Цей електромагнітний баласт має сумісність із лампами потужністю до до 0,15 кВт, у яких використовується електронний баласт [31].

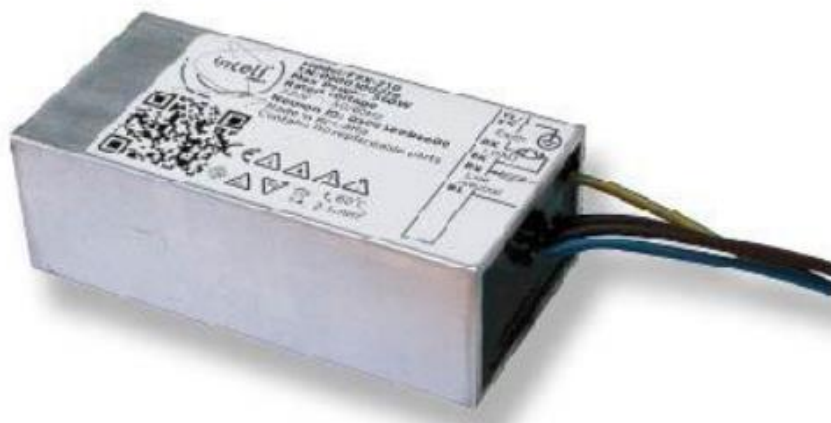


Рисунок 3.4. Електромагнітний баласт Controller FPM-152

Розглянемо елементи дистанційного керування інтелектуальної системи. На рис. 3.5 приведено інтелектуальний комунікатор FRB-110 (центр дистанційного керування), який виконує безпечне з'єднання між контролерами вуличного освітлення та центром керування програмним забезпеченням [32].



Рисунок 3.5. Інтелектуальний комунікатор *FRB-110*

На рис. 3.6 показано прилад контролю наявності напруги FVD-124, який використовується для контролю електромереж напругою до 300 В та виконує забезпечення при цьому зворотного зв'язку у режимі реального часу через вимірювані параметри [33].



Рисунок 3.6. Прилад контролю наявності напруги *FVD-124*

На рис. 3.7 приведено електричний мережевий аналізатор FNM-232, який використовується для проведення вимірювань та аналізу різних параметрів зовнішніх освітлювальних мережах [34]. Мережевий аналізатор може виконувати наступні функції:

- контроль живлення;
- контроль напруги;
- контроль пошкодження фази;
- контроль денного/нічного споживання;
- невідповідності, стан яких можна побачити в режимі реального часу.



Рисунок 3.7. Електричний мережевий аналізатор FNM-232

Аналізатори можуть вимірювати наступні параметри:

- значення коефіцієнта потужності;
- величину активної/реактивної/повної потужності;
- значення напруги;
- значення струму;
- значення частоти.

Крім вище згаданих функцій мережеві аналізатори можуть виконувати конфігурації для інших параметрів, зокрема:

- значення коефіцієнт поточної ліквідності трансформатора;
- величини напруги/потужності порогів;
- значення денного/нічного час порогів електроспоживання.

На рис. 3.8 зображено смарт-сервер FPC-200 для збору даних. Сервер передбачає використання технології Echelon Powerline, яка надає можливості збору даних, отриманих від інших елементів та перетворення інформації для передачі на центральний процесор. Смарт-сервер володіє власним програмним забезпеченням для виконання конфігурування, має вбудований інтерфейс локальних мереж та використовує протокол для реалізації на різних носіях: лініях електропередачі, радіочастотних (RF) та інфрачервоних (ІЧ) пристроях, коаксіальних кабелях та оптичному волокні [35].



Рисунок 3.8. Смарт-сервер FPC-200 збору даних

3.3 Впровадження інтелектуальної системи зовнішнього освітлення

Режим керування інтелектуальною системою здійснюється при допомозі спеціальних контролерів (рис. 3.9, а) або вбудованих контролерів (рис. 3.9, б). Зазначені контролери володіють наступними перевагами:

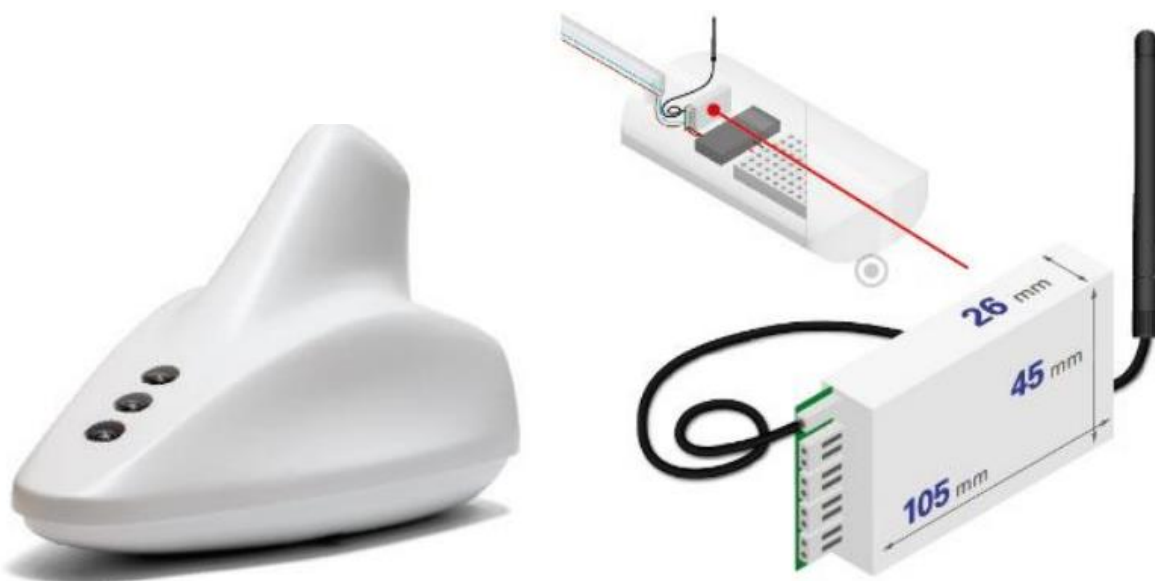


Рисунок 3.9. Контролери керування інтелектуальною системою:

а) FRE-220; б) вбудований FRE-220-M

- присутня можливість вибіркового керування лампами світильників з електронним баластом потужністю до 0,4 кВт;
- можливий режим автономної роботи на базі світлового давача, астрологічного календаря та попередньо заданих графіків;
- має максимальну пропускну спроможність з мінімумом вимог до зв'язку;

- має виділену пам'ять з високим рівнем захисту для зберігання ключів шифрування;
- присутній розширений діапазон електричного контролю параметрів;
- має розширену синхронізацію даних та механізм інформування;
- робіт від батареї RTC, захист від непередбачених збоїв;
- має зовнішній інфрачервоний інтерфейс, який використовується для передачі ключів безпеки та місцевої конфігурації;
- присутній вбудований датчик рівня освітленості;
- доступний розширений спектр радіочастот, має високу стійкість до завад, а невелике енергоспоживання ідеально підходить для оснащення великої території.

На рис. 3.10 приведено приклад пілотного проєкту впровадження контролера вуличного освітлення FRE-220 в м. Борщів.



Рисунок 3.10. Контролер вуличного освітлення FRE-220 на центральній вулиці м. Борщова

В табл. 3.1 приведено технічні характеристики контролера FRE-220.

Таблиця 3.1. *Технічні параметри контролера FRE-220*

| | |
|---|--|
| Тип лампи | LED-лампи, енергозберігаючі лампи, газорозрядні лампи високої інтенсивності з електронним баластом |
| Потужність лампи | до 0,4 кВт |
| Функція ввімкнення/вимкнення | так |
| Затемнення | так |
| Крок затемнення | безступінчатий |
| Інтерфейс керування | 0-10В / DALI |
| Зовнішній інтерфейс | інфрачервоний |
| Мережевий інтерфейс | LoRaWAN™ (низької потужності, великої радіочастотної дальності) |
| Радіочастотний спектр | 869 МГц/916 МГц/925 МГц |
| Ефективна пропускна спроможність | так |
| Розширений механізм синхронізації | так |
| Оновлення прошивки | ІЧ (інфрачервоний) / OTA (повітрям) |
| Протокол зв'язку | LoRaWAN™: Клас С або клас А |
| Безпека | Виділена пам'ять із високоступеневим захистом для зберігання ключів шифрування |
| Джерело живлення | 80 - 250VAC / 50Гц |
| Захист від перенапруги | 10 000 А |
| Внутрішня пам'ять | так |
| Потужність споживання | 0,6 Вт |
| Точність годинника реального часу (RTC) | Працює від батарейки |
| У режимі реального часу роботи лампи | LoRaWAN™ тільки мережі класу С |
| Ступінь захисту | IP66 |
| Робоча температура | від -35° С до + 70° С |

Продовження таблиці 3.1

| | |
|-----------------------------------|---|
| Розміри (довжина, ширина, висота) | (170, 77, 108) мм |
| Параметри, що вимірюються | індикатор живлення, напруга, активна, реактивна і повна потужності, коефіцієнт потужності, активне і реактивне споживання енергії, лічильник часу роботи, стан лампи (ввімк./вимкл), лічильник циклів |
| Контроль | контроль підвищеної/пониженої напруги, контроль перевантаження за струмом, контроль несправності лампи або баласту, поломка пристрою |
| Параметри, що налаштовуються | календар, стан запуску фотоелемента, розклад запуску, поріг спрацьовування, перевищення/зниження напруги, перевищення/зниження порогового значення, к-ть повторних спроб запуску, час нагрівання лампи, налаштування передачі даних |

В табл. 3.2 приведено технічні характеристики вбудованого контролера FRE-220-M.

Таблиця 3.2. Технічні параметри вбудованого контролера FRE-220-M

| | |
|------------------------------|--|
| Тип лампи | LED-лампи, енергозберігаючі лампи, газорозрядні лампи високої інтенсивності з електронним баластом |
| Потужність лампи | до 0,4 кВт |
| Функція ввімкнення/вимкнення | так |
| Затемнення | так |
| Межа затемнення | 35% -100% |
| Крок затемнення | безступінчатий |
| Інтерфейс керування | 0-10V / DALI |
| Зовнішній інтерфейс | інфрачервоний |
| Мережевий інтерфейс | LoRaWAN™ (низької потужності, великої радіочастотної дальності) |

Продовження таблиці 3.2

| | |
|---|---|
| Радіочастотний спектр | 869 МГц/916 МГц/925 МГц |
| Ефективна пропускна спроможність | так |
| Розширений механізм синхронізації | так |
| Оновлення прошивки | ІЧ (інфрачервоний) / OTA (повітрям) |
| Протокол зв'язку | LoRaWAN ^М : Клас С або клас А |
| Безпека | Виділена пам'ять із високоступеневим захистом для зберігання ключів шифрування |
| Джерело живлення | 80 - 250VAC / 50Гц |
| Захист від перенапруги | 10 000 А |
| Внутрішня пам'ять | так |
| Потужність споживання | 0,6 Вт |
| Точність годинника реального часу (RTC) | Працює від батарейки |
| У режимі реального часу роботи лампи | LoRaWAN ^{ТМ} тільки мережі класу С |
| Ступінь захисту | IP66 |
| Межі робочих температур | від -35° С до + 70° С |
| Розміри (довжина, ширина, висота) | (112, 50, 35) мм |
| Параметри, що вимірюються | індикатор живлення, напруга, активна, реактивна і повна потужності, коефіцієнт потужності, активне і реактивне споживання енергії, лічильник часу роботи, стан лампи (ввімк./вимк.), лічильник циклів |
| Контроль | контроль підвищеної/пониженої напруги, контроль перевантаження за струмом, контроль несправності лампи або баласту, поломка пристрою |

Продовження таблиці 3.2

| | |
|------------------------------|---|
| Параметри, що налаштовуються | календар, стан запуску фотоелемента, розклад запуску, поріг спрацьовування, підвищення/зниження напруги, підвищення/зниження порогового значення, к-ть повторних спроб запуску, час нагрівання лампи, налаштування передачі даних |
|------------------------------|---|

На рис. 3.11 приведено пристрій керування та контролю освітленням, який здійснює роботу дистанційного ввімкнення/вимкнення освітлення, вимірювання та контролю різних характеристик вуличних освітлювальних мереж, зокрема:

- контроль напруги;
- контроль обриву фази;
- контроль денного та нічного споживання електричної енергії;
- контроль заданого режиму роботи.



Рисунок 3.11. Пристрій керування та контролю освітленням

Контролер може вимірювати наступні параметри:

- значення коефіцієнта потужності;
- величину активної, реактивної та повної потужності;
- величину напруги;
- величину струму;
- величину частоти;
- значення щоденного споживання активної та реактивної енергії.

За значеннями отриманих даних формуються варіанти конфігурації для інших параметрів, наприклад, поточного коефіцієнта трансформатора, величини напруги, значення потужності порогів, значення денного та нічного часу порогів споживання.

На рис. 3.12 приведено пристрій шлюзу, який може здійснювати керування в кількості до 20 000 контролерів на відстані до 15 км в залежності від щільності територіальної забудови. Цей пристрій має розширений спектр радіочастот, доволі високу стійкість до завад та невелике енергоспоживання. Перелічені вище характеристики роблять його ідеальним пристроєм для організації двонаправленого зв'язку з будь-яким інтелектуальним обладнанням, наприклад, давачами, лічильниками і іншими приладами.



Рисунок 3.12. Шлюз керування контролерами

3.4 Дослідження ефективності впровадження інтелектуальної системи керування освітленням у м. Борщів

Довжина кабельних ліній зовнішнього освітлення в м. Борщів 0,4 кВ становить 72,3 км, повітряних ліній – 44,9 км. Внутрішнє квартальне освітлення міських ділянок м. Борщів організовано за допомогою світильників марок ЖКУ та ЖТУ загальною чисельністю 658 шт. Магістральне освітлення міських ділянок м. Борщів виконано на базі світильників марок ЖКУ та ЖТУ у кількості 144 шт.

Загальне споживання електроенергії установками зовнішнього освітлення складає 27356 кВт·год на рік. Утримання та експлуатація об'єктів зовнішнього освітлення вулиць та доріг здійснюється із коштів міського бюджету. Світло у дворах та внутрішніх квартальних проїздах знаходиться у балансі міської ради, виробничих підприємств та власників житлових приміщень. Витрати на придбання освітлення під'їздів відшкодовують виробничі підприємства, товариства, а також власники житлових приміщень. На сьогоднішній день витрати на освітлення складають біля 10% від споживаної будівлею електричної енергії і витрати на придбання ламп віднесені до платежів місцевого населення.

Виконаємо дослідження економічного ефекту від впровадження інтелектуальної системи керування зовнішнім освітленням на прикладі 50 пунктів управління вуличним висвітленням.

Для реалізації інтелектуальної системи керування зовнішнім освітленням в м. Борщів необхідно виконати модернізацію 50 (N) пунктів керування освітленням. Середня комутована потужність одного пункту керування освітленням (P) складає 15 кВт. Середній час роботи світильників за умовну середньорічну добу (t) становить біля 9 годин. У цьому випадку будемо мати споживання електричної енергії системою освітлення на 50 об'єктах за умовну добу рівним 6750 кВт·год. Відповідно, річне споживання електричної енергії системою освітлення на 50 об'єктах буде становити 2463750 кВт·год.

На рис. 3.13 приведено графік сходу та заходу сонця в Тернопільській області на протязі календарного року.

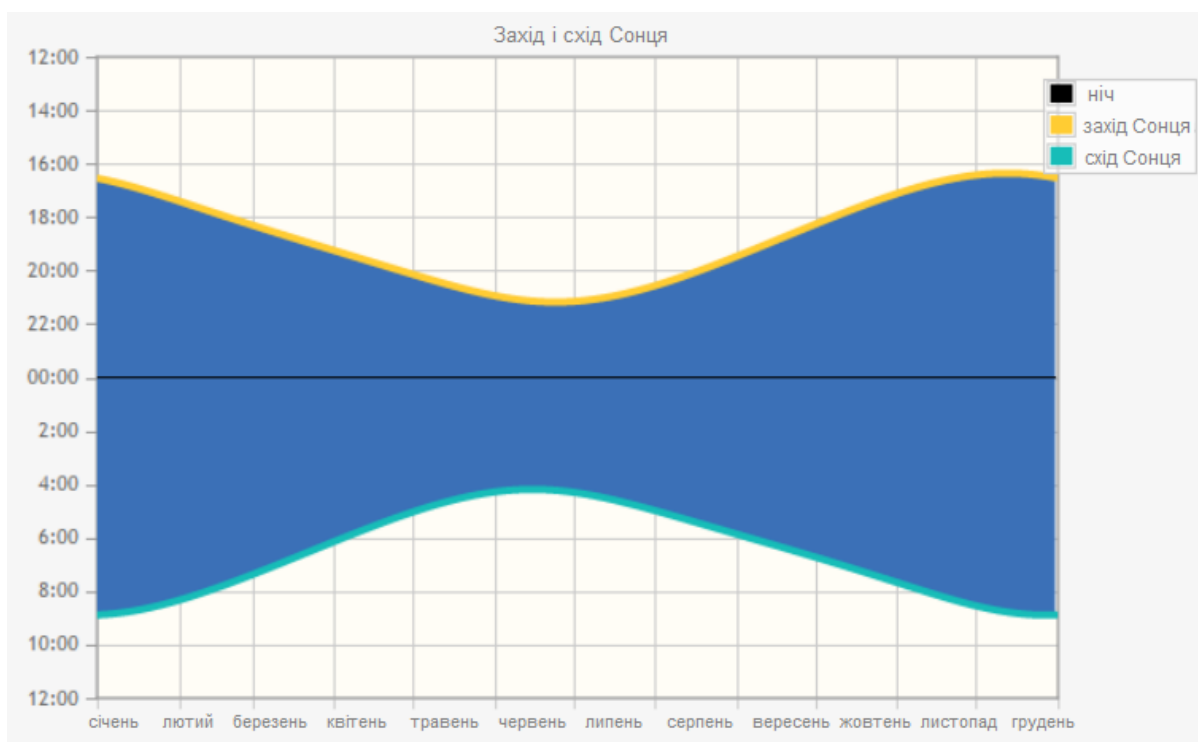


Рисунок 3.13. *Графік сходу і заходу Сонця в Тернопільській області на протязі календарного року*

Згідно вище наведеного графіку можна скласти графік зменшення інтенсивності вуличного освітлення, що показано на рис. 3.14.

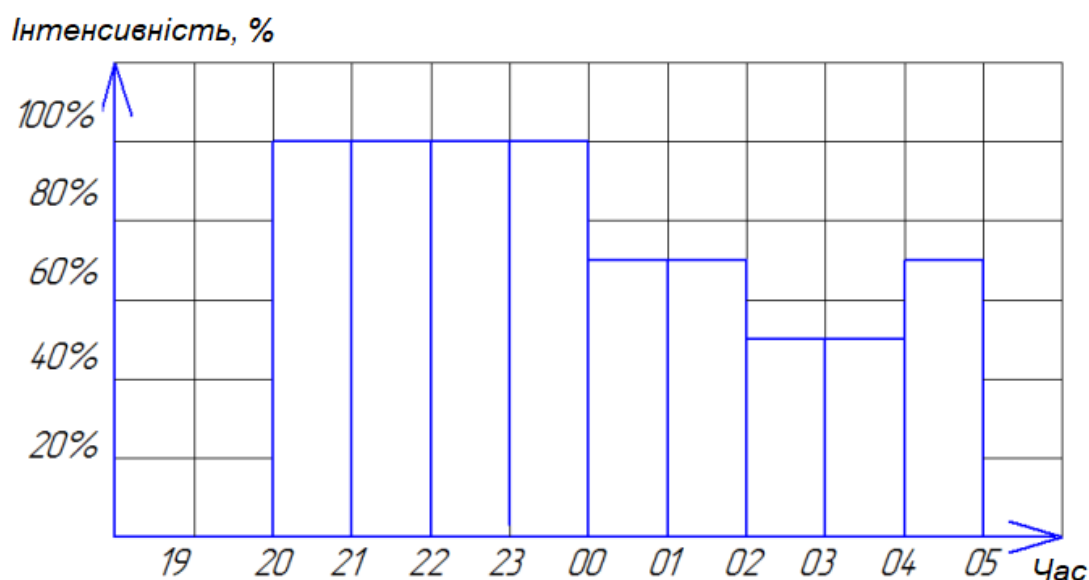


Рисунок 3.14. *Графік інтенсивності вуличного освітлення*

Отже, середній час роботи освітлювальних приладів у вечірньому (піковому) режимі (t_1) буде становити 4 години (з 20:00 год. до 24:00 год.), середній час роботи освітлювальних приладів в нічному (енергозберігаючому) режимі (t_2) буде становити 3 години (з 24:00 год. до 2:00 год. та з 4:00 год. до 5:00

год.), середній час роботи освітлювальних приладів в енергозберігаючому черговому режимі (t_3) буде становити 2 години (з 2:00 год. до 4:00 год.).

Виконаємо розрахунок економії електричної енергії на протязі року. Поточне споживання електричної енергії електромережею вуличного освітлення за умовну (середньорічну) добу на 50 об'єктах можна визначити за формулою:

$$W_1 = N \cdot t \cdot P, \quad (3.1)$$

$$W_1 = 50 \cdot 9 \cdot 16 = 6750 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Планове споживання електричної енергії електромережею вуличного освітлення за умовну (середньорічну) добу при впровадженні інтелектуальної системи керування зовнішнім освітленням можна визначити за формулою:

$$W_2 = N \cdot t_1 \cdot P + N \cdot t_2 \cdot P \cdot 2/3 + N \cdot t_3 \cdot P \cdot 1/3, \quad (3.2)$$

$$W_2 = 50 \cdot 4 \cdot 15 + 50 \cdot 3 \cdot 15 \cdot 2/3 + 50 \cdot 2 \cdot 15 \cdot 1/3 = 5025 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Економія електроенергії за умовну (середньорічну) добу складе:

$$dW = W_1 - W_2, \quad (3.3)$$

$$dW = 6750 - 5025 = 1725 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Економія електричної енергії за умовну (середньорічну) добу буде складати 1725 кВт·год, що становить біля 25,6%.

Отже, сумарна економія електричної енергії за рік на 50 об'єктах становитиме 86250 кВт·год. Якщо брати середню комерційну ціну 8,0 грн. за 1 кВт·год, то економія у грошовому еквіваленті буде становити 690000 грн. на рік.

3.5 Висновки до розділу 3

Проведені в цьому розділі дослідження та розрахунки показали, що:

- впровадження інтелектуальної системи керування зовнішнім освітленням дозволить створити безпечні умови дорожнього руху, підвищить архітектурний, туристичний та комерційний рівень міста;

- інтелектуальна система керування вуличним освітленням має дистанційне керування, що створює можливість керування лампами та рівнем освітлення окремого вуличного світильника та забезпечує необхідну кількість світла за різних умов;

- наявність зворотного зв'язку в режимі реального часу дозволяє отримувати інформацію про різні зміни на лінії, знижує втрати електроенергії та передбачає сучасні інструменти оптимізації технічного обслуговування;

- витрати електричної енергії знизяться до 30% з допомогою інтелектуального ввімкнення/вимикання, вибіркового зменшення інтенсивності освітлення та ефективного керування споживанням, а загальні експлуатаційні витрати - до 40%;

- практика впровадження інтелектуальної системи керування зовнішнім освітленням демонструє найкращі результати, а реалізація проєкту здійснюється у дуже швидко;

- згідно проведеної оцінки економічної ефективності впровадження інтелектуальної системи освітлення у м. Борщів витрати на електричну енергію скоротяться на 25,6%, її загальна економія за рік буде становити 1725 кВт·год, а в грошовому еквіваленті складе біля 690000 грн. на рік.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці як складова безпеки життєдіяльності

Умови та безпека праці, їх стан та покращення – самостійна і важлива задача соціальної політики будь-якої сучасної промислово розвинутої держави, яку вирішує така невід’ємна складова БЖД, як охорона праці. Рівень безпеки будь-яких робіт у суспільному виробництві значною мірою залежить від рівня правового забезпечення цих питань, тобто від якості та повноти викладення відповідних вимог в законах та інших нормативно-правових актах [36].

Для вирішення існуючих проблем в сфері охорони праці необхідна ефективна взаємодія всіх органів державної влади та громадськості, а також реалізація як на державному, так і на місцевих рівнях відповідних програм, спрямованих на корінне покращення умов і охорони праці.

Реалізація цих програм дозволить розробити і впровадити науково обґрунтовану державну систему наглядової, навчально-методичної та контрольної діяльності у сфері охорони праці; адаптувати нормативно-правову базу з питань охорони праці до вимог директив Європейського Союзу; вирішити питання науково-методичного та інформаційного забезпечення з питань охорони праці на національному та регіональному рівнях та багато іншого, що дозволить здійснити комплексне вирішення задач охорони праці, забезпечити пріоритет життя і здоров’я працюючих по відношенню до результатів виробничої діяльності і створити безпечні та здорові умови праці на підприємствах і в організаціях усіх форм власності.

Охорона праці водночас вирішує два основних завдання. Одне з них – інженерно-технічне – передбачає запобігання небезпечним подіям під час трудового процесу шляхом [37]:

- заміни небезпечних матеріалів менш небезпечними,
- переходу на нові технології, які зменшують ризик травмування і захворювання;
- проектування і конструювання устаткування з урахуванням вимог безпеки праці;

- розробки засобів індивідуального та колективного захисту.

Друге – соціальне – пов’язане з відшкодуванням матеріальної, моральної чи соціальної шкоди, завданої внаслідок нещасного випадку або професійного захворювання, тобто це захист працівника та його прав.

Виходячи з поставлених перед нею завдань, охорона праці, ґрунтуючись на правових та організаційних основах, вирішує питання виробничої санітарії, виробничої та пожежної безпеки [37].

4.2 Аналіз причин ураження людини електричним струмом

Наслідки ураження людини електричним струмом залежить від ряду факторів, які умовно можна поділити на три групи: фактори електричного характеру, фактори неелектричного характеру і фактори довкілля [38].

Фактори електричного характеру. У випадку отримання електротравми, основним уражаючим фактором є *електричний струм*, що протікає через людину. Від величини (сили) цього струму залежать наслідки ураження. Виділяють наступні порогові значення сили струму, тобто ті мінімальні значення, що викликають певні наслідки:

– поріг чутливості – це мінімальна сила струму, яку людина сприймає у вигляді ледь відчутних подразнень (для змінного струму це значення 0,7-1,5 мА, для постійного – 5-7 мА);

– пороговий невідпускаючий струм – це мінімальна сила струму, що викликає судомне скорочення м’язів, і людина не може самостійно звільнитися від струмовідних частин (для змінного струму це значення 10-15 мА, для постійного – 50-80 мА);

– пороговий фібриляційний струм – це мінімальна сила струму, що викликає фібриляцію серця (для змінного струму це значення 100 мА, для постійного – 300 мА).

Напруга на тілі людини впливає на тяжкість ураження лише в тій мірі, в якій вона визначає силу струму, що протікає через тіло людини.

Опір кола людини. Розглядаючи випадки включення людини в електричне коло (наприклад, дотику людини до струмопровідної частини), бачимо, що

послідовно з опором тіла людини «включені» опори інших елементів: опір одягу, опір взуття і опір опорної поверхні ніг (рис. 4.1) [39].

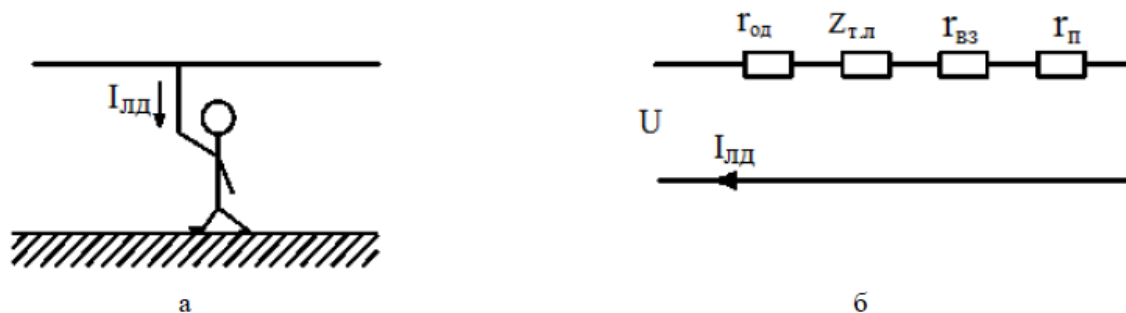


Рисунок 4.1. Схема дотику людини до струмопровідної частини:
а – загальна схема; б – еквівалентна схема: $r_{од}$ - опір одягу, $Z_{тл}$ - опір тіла людини,
 $r_{вз}$ - опір взуття, $r_{оп.п}$ - опір опорної поверхні ніг

Опір одягу «включається» у коло людини, якщо людина дотикається до обладнання під напругою частиною тіла, покритою одягом (наприклад, плечем, рукою у рукавичці чи ін.). Опір одягу залежить від товщини матеріалу та вологості; так, опір сухого одягу має приблизно 3-5 кОм, вологого – до 1 кОм, а мокрого – не враховується. Опір взуття «включається» у коло людини, якщо струм проходить через людину і у землю. Слід враховувати, що опори кожної ділянки підошви взуття «включаються» паралельно, якщо струм протікає так, як показано на рис. 4.1 а, і послідовно, якщо людина попадає під напругу кроку. Опір підошви взуття залежить від матеріалу, товщини і вологості підошви. Дуже високий опір має підошва з гуми та натуральної шкіри. Суха підошва має опір до 20 кОм, волога – декілька кОм, опір мокрої підошви не враховується.

Опір опорної поверхні ніг – це опір підлоги чи ґрунту, на яких стоїть людина. Опір опорної поверхні ноги на дерев'яній підлозі сягає 3-5 кОм, а підлоги з інших матеріалів, крім неспеціальних, мають менший опір. Опір опорної поверхні ніг на ґрунті теж залежить від виду, вологості і розміщення ніг на ґрунті та визначається залежностями:

- однієї ноги на ґрунті – $r_{гр.1}=3,1\rho$;
- двох ніг, «включених паралельно» і розміщених поряд – $r_{гр.2} = 2,2\rho$;
- те ж саме, розміщених на відстані кроку – $r_{гр.2}=1,6\rho$;
- двох ніг, «включених послідовно» – $r_{гр.2} = 6,2\rho$,

де ρ – питомий опір ґрунту, Ом·м.

Опір тіла людини. Тіло людини являє собою складний комплекс тканин, електричні параметри яких розрізняються у широкому діапазоні. Найбільшу провідність має кров, м'язи, мозок, а найменшу – шкіра, кістки, жирова тканина. Прийнята еквівалентна схема електричного опору тіла людини складається з двох послідовно сполучених складових: опору шкіри і опору внутрішніх органів. Опір шкіри представляється у вигляді двох складових: активного і ємнісного опорів ($R_{\text{шк}}$ і $C_{\text{шк}}$) сполучених паралельно, а опір внутрішніх органів – тільки у вигляді активного опору ($R_{\text{вн}}$), тобто характер електричного опору тіла людини є активно-ємнісним. Опір шкіри залежить від її стану, щільності та площі контактів, прикладеної напруги, сили струму та тривалості протікання цього струму. Найбільший опір має суха чиста непошкоджена шкіра. Збільшення площі та щільності контактів зі струмопровідними частинами зменшує опір шкіри. Зі збільшенням прикладеної напруги опір шкіри зменшується у результаті пробою верхнього шару. Збільшення величини струму або тривалості його протікання зумовлює збільшення нагріву верхнього шару шкіри і потовиділення у місці контакту, що також зменшує електричний опір шкіри. Ємність шкіри залежить від площі контакту і складає близько $0,02 \text{ мкФ/дм}^2$.

Опір внутрішніх органів також має активно-ємнісний характер, але ємнісна складова незначна і нею можна знехтувати. Опір активної складової залежить в основному, від прикладеної напруги і складає $600\text{-}300 \text{ Ом}$. Зі збільшенням напруги загальний опір тіла зменшується. Опір тіла людини залежить від статі і віку людей: у жінок цей опір менший, ніж у чоловіків; у дітей менший, ніж у дорослих; у молодих людей менше, ніж у людей у віці.

Оскільки опір тіла людини електричному струму є *нелінійним і нестабільним*, а проводити розрахунки з такими опорами достатньо складно, прийнято вважати для наближених розрахунків, що опір тіла людини електричному струму – величина стабільна, лінійна і складає 1000 Ом (рис. 4.2). Це відповідає більшості випадків включення людини у електричне коло (близько 150 В).

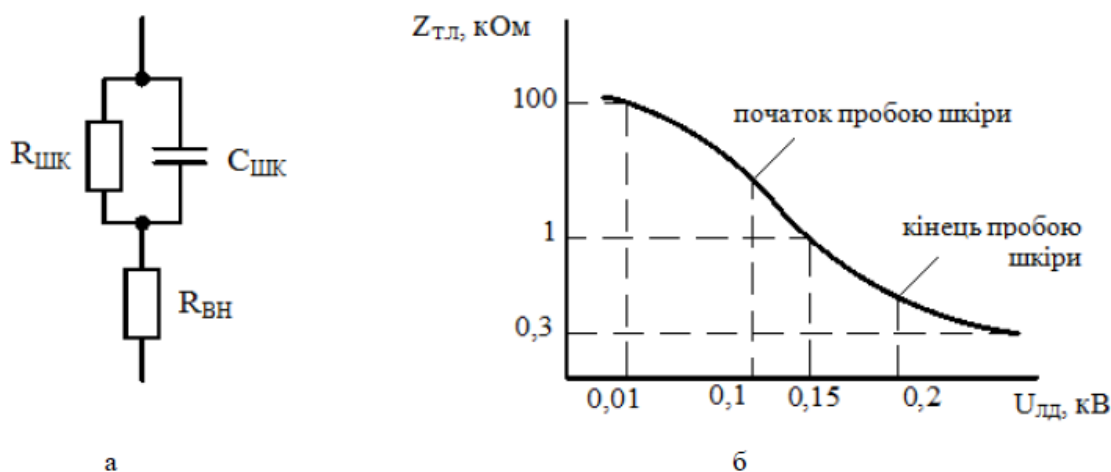


Рисунок 4.2. Електричний опір тіла людини:
 а - еквівалентна електрична схема ($R_{шк}$ і $C_{шк}$ – активний опір і ємність шкіри відповідно; $R_{вн}$ – опір внутрішніх органів); б – залежність величини опору тіла людини від напруги, прикладеної до людини

Вважається, що постійний струм, який проходить через тіло людини, порівняно зі змінним, викликає менш неприємні відчуття (справедливо для напруг до 300 В). Із збільшенням напруги небезпека постійного струму зростає і в інтервалі напруг 400-600 В практично дорівнює небезпеці змінного струму з частотою 50 Гц, а за напруг понад 600 В навіть перевищує її (рис. 4.3 а).

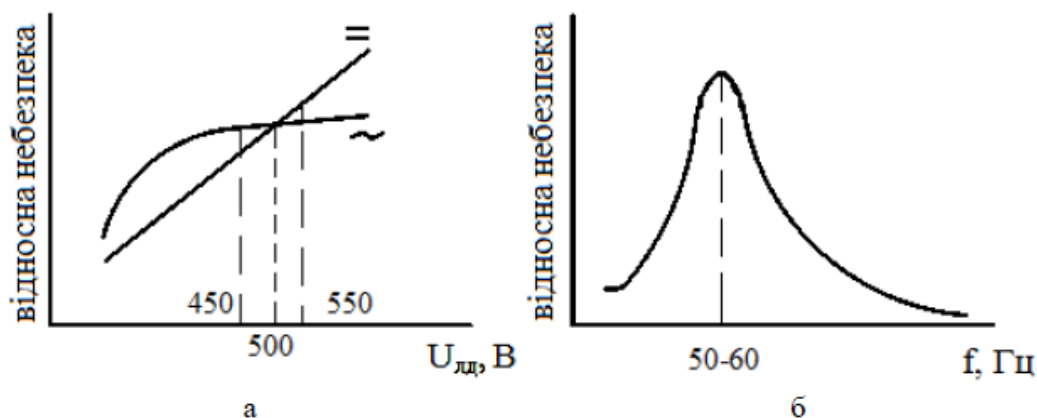


Рисунок 4.3. Залежність небезпеки ураження людини електричним струмом від:
 а – виду струму; б – частоти змінного струму

Частота змінного струму. Найбільш небезпечними для людини є струми з частотою 20-200 Гц (рис. 4.3 б). Із зменшенням чи підвищенням частоти небезпека зменшується і зовсім зникає за частоти 450 кГц та вище. Найбільш небезпечним вважається струм з частотою 50-60 Гц (промислові частоти) через

те, що деякі внутрішні органи мають власні частоти коливання у цьому діапазоні, і протікання таких струмів може викликати резонансні явища.

4.3 Заходи безпеки життєдіяльності в електроустановках

З метою забезпечення нормальних умов праці і життєдіяльності технічного персоналу та студентів при використанні технічних в системи міського зовнішнього освітлення були застосовні такі технічні захисні заходи: мала напруга, контроль пошкодження ізоляції, забезпечення недоступності струмопровідних частин, захисне заземлення і занулення, подвійна ізоляція і захисне відключення [40].

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 [8]. 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 розжарювання, світильників загального освітлення звичайної конструкції з лампами розжарювання, розміщених над підлогою на висоті менше 2,5 м. Напруга до 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 [41]:

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 кваліфікаційній роботі було використано електричне і електромагнітне блокування.

Електричне 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.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі вирішена актуальна наукова задача – розроблено заходи щодо підвищення надійності системи міського зовнішнього освітлення шляхом використання технічних засобів.

За результатами проведених в кваліфікаційній роботі досліджень та розрахунків були отримано наступні результати.

1. Мережі зовнішнього освітлення є одним із найбільших споживачів електричної енергії, тому їх є одним із найефективніших та обов'язкових енергозберігаючих заходів. Виходячи з виконаного аналізу, можна дійти до висновку, що необхідно впроваджувати автоматизовані системи управління зовнішнім освітленням, які дозволять регулювати енергоспоживання, контролювати цілісність обладнання, своєчасно подавати сигнал оперативному персоналу про аварійні ситуації в мережі.

2. Впровадження інтелектуальної системи керування зовнішнім освітленням дозволить забезпечити безпечні умови дорожнього руху, безпеку пішоходів та покращить архітектурну, туристичну та комерційну складову міста.

3. Інтелектуальна система керування вуличним освітленням має дистанційне керування, що створює можливість керування лампами та рівнем освітлення окремого вуличного світильника та забезпечує необхідну кількість світла за різних умов, знижує втрати електроенергії та передбачає сучасні інструменти оптимізації технічного обслуговування.

4. Витрати електричної енергії знизяться до 30% з допомогою інтелектуального ввімкнення/вимикання, вибіркового зменшення інтенсивності освітлення та ефективного керування споживанням, а загальні експлуатаційні витрати - до 40%;

5. Згідно проведеної оцінки економічної ефективності впровадження інтелектуальної системи освітлення у м. Борщів витрати на електричну енергію скоротяться на 25,6%, її загальна економія за рік буде становити 1725 кВт·год, а в грошовому еквіваленті це складе біля 690000 грн. на рік.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Салтиков В.О. Освітлення міст: Навч. посібник.- Харків: ХНАМГ, 2009.– 221 с.
2. 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. – 332 с.
3. 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>
4. 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
5. 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).
6. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5–28–2006. – [Чинний від 2006–10–01]. – К.: Мінбуд України, 2006. – 75 с.
7. Пилипчук Р.В. Зовнішнє освітлення міста / Р.В. Пилипчук, Р.Ю. Яремук, В.В. Щиренко // Світло-люкс. – 2006. – №6. – С. 75–79
8. ПУЕ - Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання)/ Наказ від 21.07.2017 № 476 Про затвердження Правил улаштування електроустановок.
9. Особливості ламп розжарювання. – Режим доступу до ресурсу: <https://vse.com.ua/novosti/osobennosti-lamp-nakalivaniia>
10. Салтиков В.О. Освітлення міст: Навч. пос. - Харків: ХНАМГ, 2009.– 221 с.
11. DIN 5044 Stationary traffic lighting – Street lighting for automobile traffic Part 1: General requirements and recommendations.
12. Аналіз ринку світлодіодного освітлення України. 2020 рік. – Режим доступу до ресурсу: <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-svetodiodnogo-osvesheniya-ukrainy-2020-god>

13. Світлодіодні світильники – різноманітність моделей. – Режим доступу до ресурсу: <https://vse-e.com/ua/novosti/svetodiodnye-svetilniki-raznoobrazie-modelei>
14. 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
15. Оробчук Б.Я. Лабораторний комплекс для побудови систем телекерування і диспетчерського управління в електроенергетиці. Матеріали XX 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. Оробчук Б., Іванків А. Адаптивна система керування режимами електропостачання. Актуальні питання розвитку агропромислового комплексу. ВП НУБІП України «Бережанський агротехнічний інститут». - Бережани, 2016 р.
17. 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.
18. 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.
19. V. 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
20. Мисюк Ю.П., Зовнішнє освітлення міст та безпека дорожнього руху / Ю.П. Мисюк // Світлотехніка та електроенергетика. – 2010. – № 3-4. –С. 33- 39.

21. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Технічні норми. – Чинні з 28.02.2019. – К.: 2018. – 133с.
22. 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 01.05.24).
23. Автоматизовані системи управління вуличним освітленням. Url: <https://controlengrussia.com/otraslevye-resheniya/zhkh/asuno/> (дата звернення: 01.05.24).
24. Семків Ю.М., Андрійчук В.А., Касаркевич В.С. Світлове забруднення атмосфери: астрономічний аспект проблеми / Журнал «Світло люкс». – 2010.
25. Бомчик О.С., Парамуд Я.С. Комп'ютерна система управління багатоканальними освітлювальними пристроями. – Львів.: 2018 – 24 С.
26. 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.
27. Матченко В.С. Інтелектуальна система управління зовнішнім освітленням // Харківський національний університет радіоелектроніки. - 2020
28. 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 / С.С. Козлов ; наук. кер. Гриб О.Г. ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків, 2021.–201 с.
29. Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://intelilight.eu/intelilight-fpe-220-lonworks-plc-compatible-electronic-ballast-controller/>
30. Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://intelilight.eu/intelilight-fpm-402-lonworks-plc-compatible-electromagnetic-ballast-controller/>
31. Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://intelilight.eu/intelilight-fpm-152-lonworks-plc-compatible-electromagnetic-ballast-controller/>
32. Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://intelilight.eu/intelilight-frb-110-intelligent-communicator/>
33. Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://intelilight.eu/intelilight-fvd-124-voltage-presence-monitor/>

34. Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://intelilight.eu/intelilight-fnm-232-electric-network-analyzer/>
35. Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://intelilight.eu/intelilight-fpc-200-data-concentrator-smart-server/>
36. Закон України «Про охорону праці». <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/>
37. Ткачук К.Н., Зацарний В.В., Третякова Л.Д., Мітюк Л.О. Охорона праці і промислова безпека: навчальний посібник. Київ: Лібра, 2010. - 425 с.
38. Кухаровський П. П. Електробезпека на виробництві та в побуті. Хмельницький: [б.в.], 2007. 240 с.
39. Серіков Я.О. Основи охорони праці: Навчальний посібник для студентів вищих закладів освіти. - Харків, ХНАМГ, 2007. - 227 с.
40. 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>
41. Правила експлуатації електрозахисних засобів. Вид. офіц. Київ: Міністерство енергетики, 2002. 46 с.
42. Оробчук Б.Я., Буняк О.А., Бабюк С.М., Сисак І.М., Вакуленко О.О. Методичні вказівки щодо виконання та оформлення дипломної роботи за ступенем «магістр». Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017 р.