

В.В. Горшков

# ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС З ЕЛЕМЕНТАМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ОСВІТЛЕННЯ ВУЛИЦЬ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

Монографія

Під редакцією доктора технічних наук,  
професора О.М. Сінчука

**ГОРШКОВ ВІКТОР ВІКТОРОВИЧ**

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ  
КОМПЛЕКС З ЕЛЕМЕНТАМИ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ  
ОСВІТЛЕННЯ ВУЛИЦЬ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ**

**МОНОГРАФІЯ**

**Під редакцією доктора технічних наук,  
професора О.М. Сінчука**

**Варшава – 2023**

**УДК 620.92**

**В.В. Горшков**

Рекомендовано до друку Вченою радою Криворізького національного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 6 від 6 грудня 2022 р.)

**Рецензенти:**

**В.В. Грабко**, доктор технічних наук, професор

(Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця)

**В.П. Розен**, доктор технічних наук, професор (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського, м. Київ)

Горшков В.В. Енергоефективний електротехнічний комплекс з елементами інтелектуального керування процесом освітлення вулиць населених пунктів: монографія. (під редакцією проф. О.М. Сінчука). - 2023. - 94 с.

У монографії викладено матеріали досліджень автора і його бачення щодо вирішення проблеми підвищення надійності та досягнення потрібного рівня життєзабезпечення населених пунктів шляхом розроблення і застосування електротехнічних комплексів вуличного освітлення як у штатних, так і в аварійних умовах за рахунок застосування сучасних методів інтелектуального регулювання роботою освітлювальних пристроїв та рівня випроміненого ними освітлення за даними діючого значення освітленості та активності руху пішоходів і транспорту.

Наведено аналіз сучасного стану та перспективи розвитку систем штучного зовнішнього освітлення в Україні. Запропоновано структуру управління електротехнічним комплексом і варіанти схемних рішень з метою реконфігурації електротехнічних комплексів вуличного освітлення при впровадженні джерел розосередженої генерації.

Монографія призначена для здобувачів вищої освіти 2-го та 3-го рівнів відповідних ВНЗ, а також може бути корисною для організацій та підприємств, котрі займаються розробкою, проєктуванням і монтажем та експлуатацією вуличних освітлень міст і селищ.

**ISBN 978-83-66216-75-4**

© В.В. Горшков 2023

© iScience Sp. z o. o.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>Розділ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ВАРІАНТІВ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ</b> .....	8
1.1. Аналіз стану вуличних освітлювальних електричних мереж населених пунктів України та світу.....	8
1.2. Стан і регламенти функціонування джерел електропостачання, що використовуються в електротехнічних системах вуличного освітлення .....	19
1.3. Огляд існуючих підходів до побудови електричних мереж вуличного освітлення.....	21
1.4. Аналіз існуючих систем регулювання зовнішнього освітлення.....	24
1.5. Особливості застосування енергозберігаючих технологій у системах вуличного освітлення .....	30
<b>Розділ 2. АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ</b> .....	32
2.1. Постановка завдань модернізації електротехнічних комплексів вуличного освітлення з метою підвищення енергоефективності їх використання.....	32
2.2. Підхід до побудови структури схеми системи електротехнічного комплексу вуличного освітлення населених пунктів.....	33
2.3. Структура електротехнічного комплексу вуличного освітлення.....	34
2.4. Місце систем акумуляування електричної енергії в структурах освітлювальних мереж населених пунктів .....	44
<b>Розділ 3. ПІДХІД І РОЗРОБКА ЗАКОНУ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ</b> .....	47
3.1. Структура системи управління електротехнічним комплексом вуличного освітлення .....	47
3.2. Побудова системи управління електротехнічним комплексом вуличного освітлення на базі Fuzzy Logic.....	50
3.3. Проектування та використання системи нечіткого виводу для системи управління електротехнічним комплексом вуличного освітлення у населених пунктах .....	53
3.4. Алгоритм роботи системи інтелектуального контролю рівня вуличного освітлення .....	62

<b>Розділ 4. ОБГРУНТУВАННЯ І РОЗРОБКА ВХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ВТІЛЕННЯ НОВІТНІХ ЗАХОДІВ У ПРАКТИКУ</b> .....	65
4.1. Приклад розрахунку ділянки діючої освітлювальної мережі	65
4.2. Обґрунтування використання в системах вуличного освітлення населених пунктів світлодіодних освітлювальних установок.....	69
4.3. Тактика визначення енергоефективного технологічного обладнання схем вуличного освітлювального комплексу .....	71
4.4. Економічне обґрунтування розробки та впровадження системи електротехнічного комплексу вуличного освітлення населених пунктів .....	73
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	80

## ВСТУП

Вуличне освітлення відіграє значну роль у соціумі, адже воно виконує ряд функцій, таких як: підвищення безпеки транспортного та пішохідного руху, сприяння превентивному запобіганню злочинних дій. Більше того, освітлення – це складова сучасного рівня комфорту людей, а також є елементом естетичного оформлення будівель і локацій у вечірній і нічний час [1].

З метою забезпечення безпечних і комфортних умов проживання для жителів населених пунктів постійно проводиться розширення мережі вуличного освітлення та модернізація існуючих мереж. Загальна протяжність електричних мереж зовнішнього освітлення в населених пунктах становить понад 100 тис. км із кількістю світлових точок близько 2 млн. одиниць. Між тим, для загального сприйняття проблеми треба враховувати, що існують ще системи освітлення поза межами населених пунктів, хоч вони поки що обмежені в існуванні і притаманні лише деяким магістральним трасам в Україні та об'єктам, що розташовані поза межами населених пунктів.

Аналіз статистичних даних і звітів свідчить про те, що нинішній стан зовнішнього освітлення більшості міст, районних центрів та сіл України є незадовільним. Це зумовлено, насамперед, низькою енергоефективністю застарілих джерел світла, які в сучасному баченні не відповідають новим нормам, що, в свою чергу, призводить до того, що споживання енергії на освітлення в Україні майже вдвічі, ніж у розвинених країнах світу [2].

Цікавими і водночас вельми драматичними виглядають показники кількості відключень в енергетичних мережах. Як свідчать ці показники, котрі взяті із загальнодоступних джерел, Україна тут «домінує». Логічно, що факти по суті як мінімум щодобових відключень протягом року є причиною відповідної реакції та електромереж освітлення населених пунктів держави. Що і який стан у цьому питанні в Україні з лютого 2022 року по теперішній час, лишається тільки здогадуватись. Це ще більше акцентує увагу та підкреслює на необхідності вирішення проблеми безперебійності та енергоефективності видів мереж, що аналізуються.



Рисунок – SAIDI Перерви в електропостачанні у 2019 році

Як відомо, у світі близько 20% виробленої електричної енергії витрачається на освітлення, тому впровадження енергозберігаючих та інтелектуальних технологій із кожним роком стає все актуальнішим. Розвинені країни світу постійно реалізують програми, які спрямовані як на забезпечення енергозберігаючих способів освітлення, так і на збільшення економічності освітлювальних приладів [3].

В Україні особливого акценту актуальності набуло наукове обґрунтування, розробка та втілення в практику створення нових варіантів структур електропостачальних комплексів і систем керування зовнішнім освітленням населених пунктів у сучасних естремальних умовах необхідності підвищеної безпеки їх експлуатації.

Серед відомих сучасних технологій, а в основному за кордонами нашої держави, у сфері штучного зовнішнього освітлення, в основному за кордонами нашої держави, активно впроваджують автоматизовані системи управління, що дозволяє оперативно керувати процесами комутації цих електротехнічних комплексів і визначати аварійні ділянки та виявляти непрацездатні штучні джерела світла для їх заміни.

На сьогоднішній день, враховуючи стратегії розвитку систем управління та активне впровадження у різні сфери світової економіки джерел розосередженої генерації, у тому числі на базі відновлюваних джерел електричної енергії, розвиваються гібридні системи штучного зовнішнього освітлення, керовані інтелектуальними системами керування [4].

У такому випадку значно змінюється структура освітлювальних комплексів шляхом переходу з варіанта однофункціонального в синергетичний. При цьому розширюються як функціональні можливості цих комплексів, так і ефективність їх функціонування. Водночас у такій структурі по факту значного розширення меж входних параметрів і критеріїв функціонування існуючі структури систем керування неспроможні, згідно свого технологічного функціоналу, реалізувати необхідний алгоритм процесу керування таким варіантом електротехнічного комплексу. В потрібному обсязі це може бути реалізовано тільки системами з інтелектуальним управлінням цим процесом.

При розробці сучасних систем освітлення, не останнім критерієм є вплив на екологію при експлуатації спроектованої системи. В тому числі, реалізуючи згідно ситуативного (непрогнозованого) вибору варіантів, енергоефективні режими функціонування систем освітлення як електротехнічних комплексів у цілому, так і окремих їх технологічних складових сегментів загальної системи.

Враховуючи результати аналізу та проблематику, слід зазначити, що розробка таких сучасних систем зовнішнього штучного освітлення з елементами інтелектуального керування технологією їх функціонування потребує детального вивчення обмежень і завдань, які покладено на нові енергоефективні системи.

На певний рівень висвітлення шляхів вирішення вищенаведених завдань у науковому сенсі з авторським баченням цього процесу і спрямована дана монографія.



## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ВАРІАНТІВ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

### *1.1 Аналіз стану вуличних освітлювальних електричних мереж населених пунктів в Україні та світі в контексті їх локації*

У рейтингу представлено 5 міст світу з найбільшою протяжністю. Замикає п'ятірку міст світу з найбільшою протяжністю Токіо, столиця Японії. Його довжина становить 92 км. У столиці проживає понад 13 млн. осіб. На початку 2015 року британським журналом Economist Токіо був названий найбезпечнішим містом світу.

На четвертому місці Пекін – одне найбільших китайських міст. Він розкинувся на 107 км у довжину. У 2010 р. в Пекіні проживало 17,5 млн. осіб.

Третє місце займає Кривий Ріг, Україна. Його протяжність становить 126 кілометрів. Він є найвужчим з усіх протяжних міст світу. Зараз місто Кривий Ріг займає територію площею 430,0 км<sup>2</sup> і має протяжність з півночі на південь 126 км (найбільша в Європі) та ширину до 20 км.

Друге місце – місто Сочі – близько 145 км.

Перше місце найпротяжніших міст світу займає Мехіко. Його територія простягається на 200 км у ширину. Кількість жителів тут перевищує 19,7 мільйона. Мехіко часто називають музеєм під відкритим небом. У ньому знаходиться понад 1400 різноманітних реліквій, близько 80 музеїв, велика кількість археологічних пам'яток та інших культурних цінностей.

За даними Міністерства енергетики України (<https://www.minregion.gov.ua/>), загальна протяжність електромереж зовнішнього освітлення в населених пунктах України станом на 01.01.2020 року становила понад 124,32 тис. км.

Загальна кількість світлоточок зовнішнього освітлення становить понад 3,53 млн. одиниць.

Між тим, частка світлодіодних джерел світла в зовнішніх освітлювальних мережах України складають 57% (рис. 1.1), що є гідним показником, але його потрібно постійно покращувати.

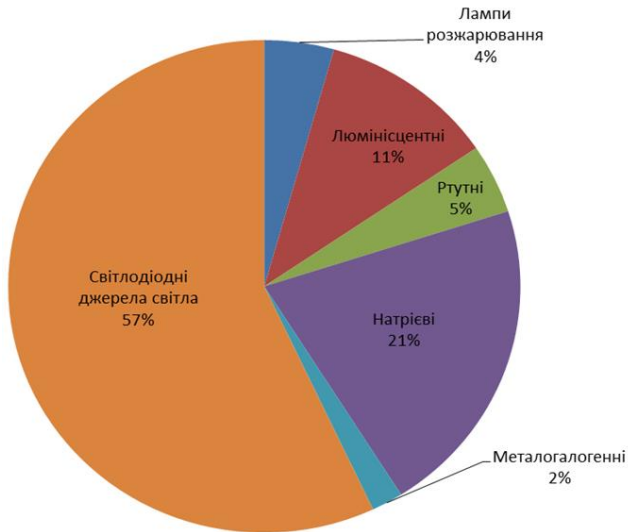


Рисунок 1.1 – Частка різних типів світлоточок за типами джерел світла в Україні станом на 2019 р.

У сфері зовнішнього освітлення використовується майже 3,38 млн. одиниць енергозберігаючих джерел світла (95,6% загальної кількості).

За результатами аналізу застосування типів джерел штучного освітлення в зовнішніх освітлювальних мережах було виявлено, що Одеська область має найбільший показник застосування світлодіодних джерел світла (рис. 1.2), що складає близько 90%. Але враховуючи лідируючі показники Одеської області за кількістю світлоточок, загальна кількість неенергоєфективних штучних джерел світла у всіх регіонах України фактично залишається на високому рівні [5].

За даними державної статистики, Дніпропетровська область за кількістю світлоточок входить у п'ятірку областей з високими показниками (рис. 3) та займає лідируюче місце серед областей за критерієм протяжності мереж зовнішнього освітлення населених пунктів (рис. 1.4).

Як показав аналіз частки різних типів світлоточок за типами джерел світла у Дніпропетровській області станом на 2019 р. (рис. 1.5), рівень використання енергоєфективних штучних джерел світла у зовнішніх освітлювальних мережах Дніпропетровської області середній

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС  
З ЕЛЕМЕНТАМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ  
ОСВІТЛЕННЯ ВУЛИЦЬ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

серед показників інших областей України складає 40%, але недостатній для необхідного рівня ефективного електроенергоспоживання [5].

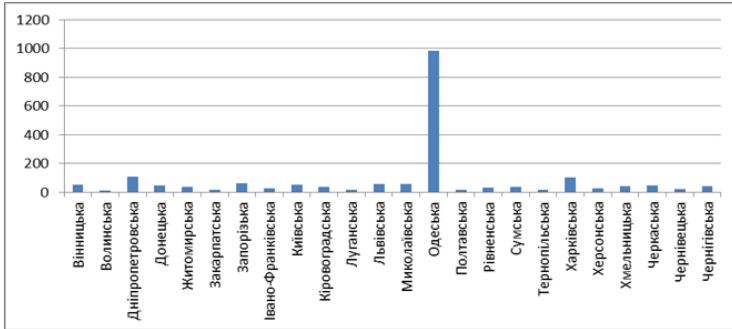


Рисунок 1.2 – Кількісна характеристика світлодіодних джерел світла по областях станом на 2019 р., тис. шт.

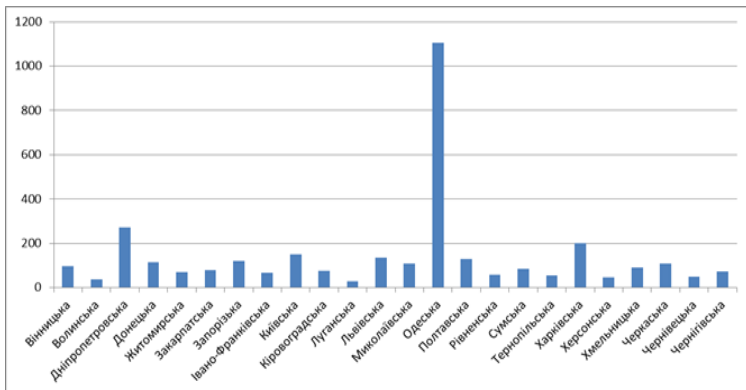


Рисунок 1.3 – Кількісна характеристика світлоточок по областях станом на 2019 р., тис. шт.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС  
З ЕЛЕМЕНТАМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ  
ОСВІТЛЕННЯ ВУЛИЦЬ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

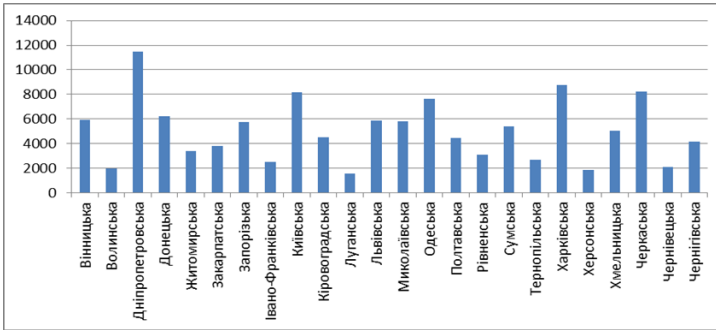


Рисунок 1.4 – Загальна протяжність мереж зовнішнього освітлення населених пунктів по областях станом на 2019 р., км

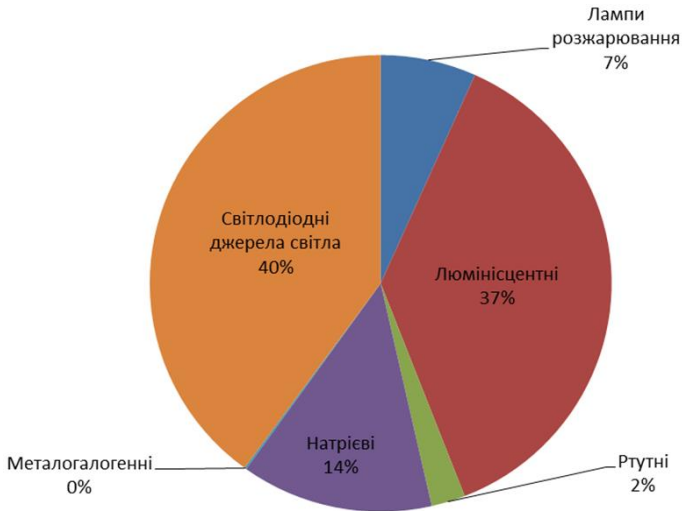


Рисунок 1.5 – Частка різних типів світлоточок за типами джерел світла у Дніпропетровській області станом на 2019 р.

Загальна кількість автоматизованих систем дистанційного управління зовнішнім освітленням в Україні станом на 2019 рік склала майже 17,5 тис. шт. Між тим, у ряді областей України впровадження цих систем залишається на досить низькому рівні. Серед областей-лідерів у впровадженні автоматизованих систем дистанційного управління зовнішнім освітленням слід відзначити Харківську,

Черкаську, Київську, Дніпропетровську та Одеську області (рис. 1.6) [5].

Станом на 2019 р. в Україні системами зовнішнього освітлення було спожито понад 820,2 млн. кВт/год. електроенергії. При цьому, витрати на закупівлю електроенергії, спожиту на зовнішнє освітлення, становлять майже 1433,0 млн. гривень [5].

Серед областей-лідерів у споживанні електроенергії зовнішніми освітлювальними мережами слід відзначити Львівську, Дніпропетровську, Харківську, Одеську, Київську, Запорізьку області (рис. 1.7).

Аналіз кількості електроенергії, спожитої однією світлоточкою, показав, що найбільші усереднені показники мають Закарпатська, Харківська, Донецька, Дніпропетровська, Львівська області (рис. 1.8).

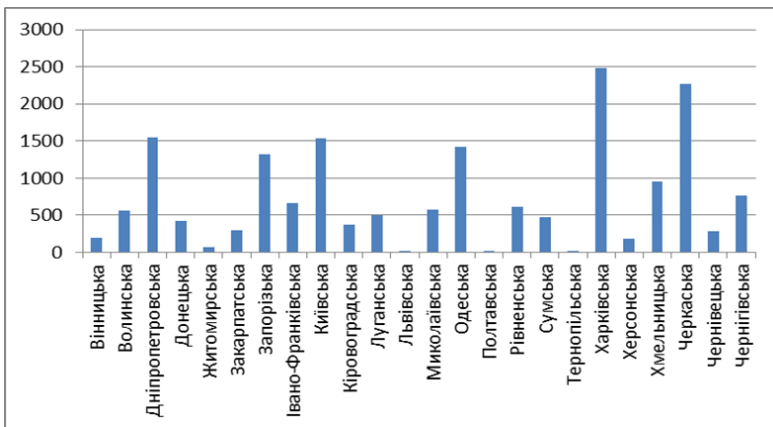


Рисунок 1.6 – Кількісна характеристика автоматизованих систем дистанційного управління зовнішнім освітленням по областях станом на 2019 р., шт.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС  
З ЕЛЕМЕНТАМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ  
ОСВІТЛЕННЯ ВУЛИЦЬ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

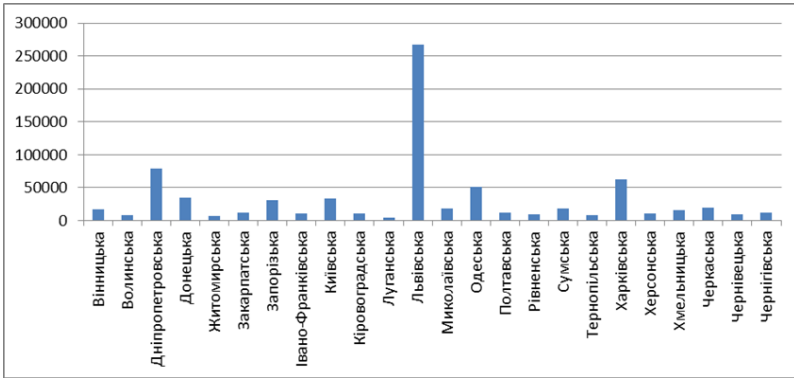


Рисунок 1.7 – Кількісна характеристика спожитої електроенергії зовнішніми освітлювальними мережами по областях станом на 2019 р., тис. кВт/год.

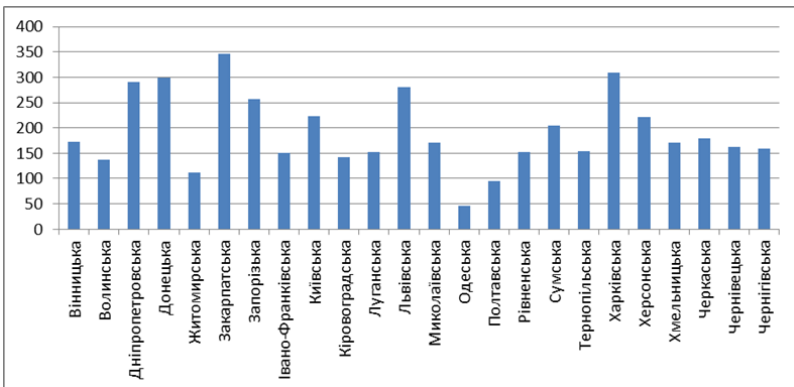


Рисунок 1.8 – Кількість електроенергії, спожитої однією світлоточкою по областях станом на 2019 р., кВт/год.

Кількість автоматизованих систем дистанційного управління зовнішнім освітленням у 2019 році склала майже 17,5 тис. шт.

Із 90,022 тис. приладів обліку електричної енергії 46,279 тис. одиниць (51,4%) – це прилади диференційованого обліку електричної енергії.

У 2019 році було спожито понад 820,2 млн. кВт/год. електроенергії. Витрати на електроенергію, спожиту на зовнішнє освітлення, становлять майже 1433,0 млн. гривень.

Середня собівартість витрат на утримання однієї світлоточки становить 513,86 грн.

Фактичне фінансування поточних ремонтів та утримання об'єктів зовнішнього освітлення населених пунктів за 2019 рік становить понад 1170,3 млн. грн. Це дозволило деяким регіонам провести заходи з модернізації систем зовнішнього освітлення.

Загалом у 2019 році обсяг виконаних робіт підприємствами зовнішнього освітлення становив майже 1625,7 млн. грн.

Експлуатацію електричних мереж зовнішнього освітлення у 2019 році здійснювало 946 підприємств, у тому числі 572 підприємства комунальної власності, 212 підприємств приватної власності та 162 – інших форм власності.

Загальна кількість працюючих на підприємствах зовнішнього освітлення становить майже 8,5 тис. осіб, з яких 6,65 тис. осіб (78,3%) працює на підприємствах комунальної форми власності.

Як приклад, щільність вулиць загальноміського значення в місті Кривому Розі становить 0,47 км/км<sup>2</sup>. Щільність вулиць районного значення у ньому становить 0,36 км/км<sup>2</sup>. Загальна довжина вулиць міста - 2528,161 км.

Найбільша щільність вулиць та доріг у Саксаганському районі – 11,87 км/км<sup>2</sup>, найменша – в Тернівському (3,36 км/км<sup>2</sup>) та Інгулецькому (4,50 км/км<sup>2</sup>) районах.

Примітною особливістю є той факт, що щільність вуличної мережі Центрально-Міського району (4,37 км/км<sup>2</sup>) менша, ніж у середньому по місту.

Водночас зазначимо, що структурування схеми освітлення в нашому місті значно складніше, ніж у більшості населених пунктів України. Пов'язане це як із протяжністю вулиць міста, де деякі сягають десятки кілометрів, так і з його ландшафтом. Останній складно форматизувати в якусь систему чи схему, тому що в місті маса «провалів породи» відвалів пустих порід висотою до 150 м над даною поверхнею, кар'єрів, шахт і їх складо-сховищ.

У період до 2031 р. обсяг виробництва електроенергії планувався зростати до 2,3% на рік. Загальний ріст електроенергії за рахунок відновлювальних джерел щорічно на 3% і його частка зростає з 18% на 30% в 2030 році.

На даний час для освітлення міста витрачається приблизно 15% від всієї споживаної електроенергії. Тому в умовах безперервного підвищення цін на енергоресурси, зростаючих вимог до якості освітлення особливої важливості для економіки міста набуває проблема

зниження витрат і раціонального використання електроенергії, а також підвищення екологічної чистоти освітлювальних установок.

Задля цього пропонується:

- у внутрішніх освітлювальних ліхтарях застосовувати економічні світильники (при заміні ламп розжарювання на компактні люмінесцентні лампи в середньому економиться 60% електроенергії, при заміні ламп розжарювання на люмінесцентні лампи в середньому економиться 40-47% електроенергії);

- у зовнішніх освітлювальних ятерах заміна дугових ртутних ламп (ДРЛ) на енергозберігаючі натрієві лампи високого тиску (це дає економії 38-50%);

- виконання автоматичного керування зовнішнім освітленням від природної освітленості, з перемикання освітлення або відключення вночі (економиться 15% електроенергії).

Графічне зображення економії електроенергії за рахунок переходу на більш ефективні освітлювальні установки на рис. 1.9.

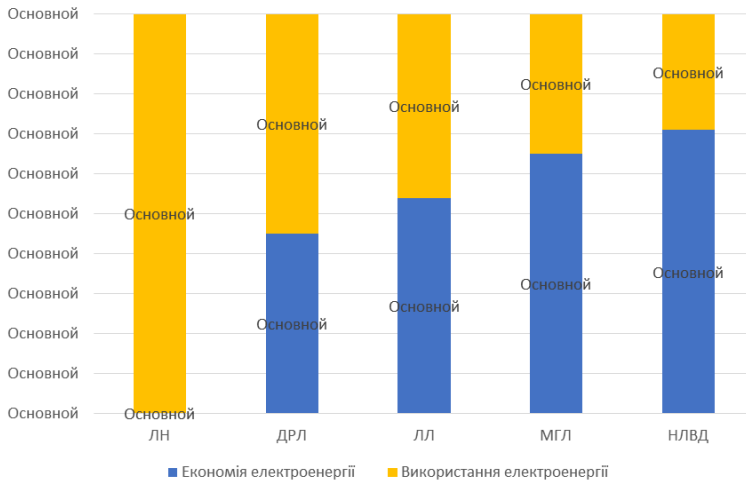


Рисунок 1.9 – Економія електроенергії за рахунок переходу на більш ефективні освітлювальні установки: ЛН - лампи розжарювання, ДРЛ - ртутні лампи, ЛЛ - люмінесцентні лампи, МГЛ - метало-галогенні лампи, НЛВД - натрієві лампи високого тиску



Основними чинниками, що сприяють такому стану підгалузі є недостатнє виконання місцевою владою вимог Закону України «Про благоустрій населених пунктів» [6] в частині фінансування цієї сфери, що не дає можливості належного проведення заходів щодо модернізації та переоснащення мереж зовнішнього освітлення.

Між тим, за результатами аналізованих даних можна зробити висновок про те, що модернізація систем освітлення з урахуванням енергоощадних технологій є актуальною в Україні. Проведення заходів щодо модернізації та переоснащення мереж зовнішнього освітлення дає можливість економії коштів на купівлю електричної енергії, розвантажує електромережі та стимулює досягнення бажаного рівня енергоефективного споживання електричної енергії.

Додатковим позитивним ефектом від модернізації мереж зовнішнього освітлення може бути також зниження втрат електричної енергії у розподільчих мережах та підвищення надійності й керованості мереж зовнішнього освітлення.

З-посеред іншого, заглядаючи в недалеке майбутнє та спираючись на розрахунки експертів McKinsey, в світі останнім часом з'явилася стійка тенденція до створення «розумних» міст, що за попередніми оцінками експертів будуть генерувати майже дві третини світового ВВП [10].

Також основними завданнями програми зовнішнього освітлення населених пунктів Апостолівської міської ради є: підвищення ефективності та надійності функціонування мереж зовнішнього освітлення населених пунктів, забезпечення утримання, належного функціонування та збереження освітлювальних приладів на території об'єктів благоустрою, впровадження енергозберігаючих технологій та обладнання, будівництво нових мереж.

Програма розроблена з метою [7-10]:

- відновлення, реконструкції та будівництва мереж зовнішнього електричного освітлення;
- приведення електромереж зовнішнього освітлення до норм і стандартів діючого законодавства;
- оснащення об'єктів зовнішнього освітлення обладнанням з використанням енерго- та ресурсозберігаючих технологій;
- покращення стану благоустрою населених пунктів;
- покращення криміногенної та аварійної ситуації в нічний час, комфорту проживання населення;

– зменшення травматизму населення в умовах незадовільного стану доріг, недостатньої видимості у зв'язку з погодними умовами;

– зменшення споживання електричної енергії об'єктами зовнішнього освітлення.

Очікувані результати виконання Програми:

– забезпечити реалізацію державної політики щодо розвитку, передусім, у сфері благоустрою населених пунктів;

– забезпечити підвищення рівня безпеки систем життєзабезпечення населених пунктів;

– поліпшити якість житлово-комунального обслуговування населення;

– знизити кількість аварійних ситуацій на об'єктах зовнішнього освітлення;

– створити умови для безпечного руху автотранспорту та пішоходів;

– створити ефективну систему обліку та регулювання споживання електричної енергії, раціональне її використання для освітлення населених пунктів;

– скоротити витрати енергії, підвищити енергоефективність освітлення вулично-дорожньої мережі.

На сьогоднішній день Україна також має розробки та реальні практичні реалізації систем «розумного» вуличного освітлення, але вони впроваджуються не так активно, як у світі, і між тим є ряд ще не вирішених завдань для активного та ефективного впровадження на території нашої країни.

Згадана технологія системи освітлення впроваджується із використанням існуючої мережі та на основі даних інших систем освітлення, постійно адаптується до навколишніх умов (вимикається або зводиться до мінімуму; автоматично вмикається, коли автотранспорт чи людина знаходяться у відповідній зоні освітлення), забезпечуючи тим самим енергоефективне використання електричної енергії [11].

Упровадження технології «розумне освітлення» має ряд переваг. По-перше, це перехід із традиційного на Led-освітлення, що дозволить заощадити 50% від вартості за електроенергію, так як Led-лампочки перетворюють майже всю отриману енергію в світлове. По-друге, це можливість переходу Led-ламп у «режим затемнення», що регулюється відповідним програмним забезпеченням і дозволяє споживати електричну енергію економно, або і взагалі освітлення буде

повністю відключено, що, у свою чергу, зекономить ще 35–40% від вартості електроенергії при використанні Led-ламп.

По-третє, це впровадження адаптивного освітлення, що забезпечує керування кожною освітлювальною установкою освітлювальної системи окремо [12].

Практична реалізація необхідного для людей країни сучасного спрямування в підвищенні їх життєвого комфорту – переведення застарілих видів освітлення міст і селищ на нові, більш ефективні (в Україні розбудовується близько 30-ти років). Ці доробки, а, точніше, їх позитив відомий. Проте все ж таки проблема хоча і в дещо завуальованому вигляді існує.

Це проблема двоєдина: створення більшого комфорту для людей та зменшення матеріального тягаря на місцеві бюджети в питанні затрат на сплату потреб систем освітлення.

У сучасній реальності слід констатувати наступне.

Тож, впровадження в системи вуличного освітлення інтелектуальних систем освітлення несе в собі ряд вагомих переваг з-посеред освітлювальних мереж із звичайним освітленням [13-20]:

- підвищення рівня енергоефективності роботи освітлювальних пристроїв на 30–50%;
- покращення якості освітлення;
- створення інтелектуальної мережі управління, необхідної для подальшого впровадження «smart city»;
- підвищення надійності;
- адаптація систем освітлення до реальних погодних умов.

На жаль, з 2014 року, з моменту агресії РФ, освітлення міст і селищ в Україні погіршилось у своїй реалізації і отримало нове додаткове системоутворююче спрямування.

Обсяги споживання якщо змінилися, то незначно, а обсяги сплати за спожиту електричну енергію та нові складові систем освітлення збільшуються значно.

Необхідні пошуки оптимальних варіантів.

На жаль, у дію з необхідності підвищення енергоефективності систем освітлення міст і селищ України з 2012 року ввійшла з новим акцентом існуюча проблема – надійності та безперебійності.

## *1.2 Стан і регламенти функціонування джерел електропостачання, що використовуються в електротехнічних системах вуличного освітлення*

Питання регулювання рівня освітленості населених пунктів, систем їх електропостачання та специфіки функціонування обговорюється вже не перший рік. Основні роботи з цього питання виконували такі науковці: Назаренко Л. А., Іоффе К. І., Салтиков В. О., Мисюк Ю. П., Пилипчук Р.В., Рейцен, Є. О., Поталіцин С. Ю., Андрійчук В.А., Jelena Armas, Juhan Laugis [1-30]. Вирішення питання відбувалося шляхом підвищення якості регулювання, за рахунок наближення до споживачів регульовальних пристроїв і підвищення їх точності. Наслідком цього стало застосування регуляторів напруги на трансформаторах і зменшення ступеня їх регулювання. Але широке застосування електричної енергії у всіх сферах людської діяльності обумовило велику розбіжність графіків навантаження споживачів, нелінійність їх параметрів і різноманіття режимів. Регулювання напруги в одній точці мереж (на шинах 10 кВ центрів живлення) за таких же умов не в змозі забезпечити одночасно всіх споживачів якісною електроенергією.

За цих умов система електропостачання перетворюється в єдиний автоматизований інформаційно-вимірювальний та керувальний комплекс, що забезпечує оптимізацію їх режимів за напругою і реактивною потужністю за комплексним соціально-економічним критерієм. Оскільки принциповою основою формування критеріїв оцінки режимів системи електропостачання і освітлення міст є загальні завдання функціонування великої системи міського господарства, які служать глобальній меті — поліпшенню умов проживання населення міст на основі підвищення кількості і якості послуг, що надаються.

Аналіз літературних джерел [30-100] дозволяє виділити критерії, які необхідно враховувати в процесі оптимізації системи електропостачання і освітлення міст. Це соціальний, економічний, екологічний і технічний критерії. В основній літературі з техніко-економічних досліджень систем енергетики знайшли віддзеркалення лише технічний і економічний критерії. При цьому за умови представлення одного з критеріїв як обмеження завдання дослідження зводиться до однокритеріального. В [30] встановлено, що функціонування системи електропостачання й освітлення міст має важливі соціальні та екологічні наслідки і їх необхідно враховувати під

час оцінювання ефективності технічних рішень, що приймаються. Більше того, в сучасних умовах, що характеризуються упровадженням ринкових відносин, за яких рішення приймаються в умовах конкурентної боротьби фірм, важливість цих критеріїв ще більше підвищується у зв'язку з необхідністю розширення обсягів і якості послуг, що надаються населенню. Таким чином, використання розглянутої системи техніко-економічних показників може розглядатися як комплексний критерій, що враховує показники соціальної, технічної, економічної й екологічної адекватності і найповніше відбиває процеси в системах електропостачання й освітлення міст.

У такій постановці завдання оптимізації режимів системи електропостачання й освітлення міст зводиться до визначення таких її параметрів, яким відповідає максимум ефективності за заданих критеріїв. Їй відповідає мінімізація функції, що є сумою експлуатаційних витрат на виробництво, передачу, розподіл і перетворення параметрів і виду електроенергії, а також супутніх витрат, пов'язаних з екологічністю, надійністю та якістю електропостачання споживачів. Таке завдання спроможне вирішити з допомогою автоматизованої системи керування, алгоритм функціонування котрої буде реалізовувати всі вищенаведені параметри у варіанті інтелектуального керування.

Структура такої системи керування режимами роботи мереж зовнішнього освітлення, котра дасть можливість відстежувати і вимірювати поточні параметри функціонування мережі та моніторити поточний стан електрообладнання і ЛЕП, складається з двох наступних рівнів:

- можливість використання автоматичного керування освітленням за допомогою фотоелектричних датчиків, які включають групу світильників у залежності від зміни природної освітленості, що надасть можливість досягнути найбільшої енергетичної ефективності;

- можливість віддаленого керування лампами і рівнем освітлення кожного вуличного світильника з гарантією потрібної кількості світла при різних умовах. Не менш важлива наявність зворотного зв'язку в режимі реального часу, яка повідомляє про будь-які зміни, що відбуваються вздовж лінії, знижує втрати енергії і пропонує передові інструменти оптимізації технічного обслуговування.

Втілення комплексу вищеперелічених заходів щодо підвищення ефективності системи зовнішнього освітлення дозволить забезпечити:

- безперебійне функціонування систем освітлення в разі зовнішнього позаштатного втручання в систему керування цим процесом;

- постійне підтримання у технічно справному стані об'єктів і мереж вуличного (зовнішнього) освітлення;

- усунення аварійних ситуацій на обладнанні та мережах інженерної інфраструктури;

- підвищення естетичної привабливості міста і якості життя населення.

У реаліях сьогодення відповідно до існуючих стандартних систем напруги в електричних освітлювальних мережах джерела світла випускаються на номінальну напругу 220, 380 В. У вуличних освітлювальних установках застосовується напруга 380/220 В, джерела світла включаються на фазну напругу 220 В.

Живлення установок зовнішнього освітлення, як правило, здійснюється безпосередньо від трансформаторних підстанцій, розподільних пунктів і ввіднорозподільних пристроїв. Освітлювальні мережі, в більшості своїй, виконують із ТНС-системою заземлення.

### ***1.3 Огляд існуючих підходів до побудови електричних мереж вуличного освітлення***

Для забезпечення точнішого вибору рівнів освітлення прийнята класифікація об'єктів міських просторів.

Вулиці й дороги класифікують за їхньою значущістю в міському середовищі та інтенсивністю руху транспорту. Клас вулиці визначається за значущістю вулиці, а підклас – за інтенсивністю руху. Позначення класів і підкласів вулиць, доріг і майданів [101].

Пішохідні простори належать до класу П. Різновиди конкретних пішохідних просторів відповідно до класифікації.

Підклас пішохідних просторів визначається залежно від складності поля зору, складності зорової орієнтації, наявності в полі зору інших користувачів, підвищеного ризику кримінальних ситуацій, а також від необхідності розрізнення осіб і створення привабливого вигляду освітлювальної установки. Ця класифікація не поширюється на майданчики для тихого й культурно-масового відпочинку, а також на підземний і надземні пішохідні переходи.

Освітлення проїзної частини вулиць і доріг із прямолінійною геометрією з регулярним транспортним рухом проєктують з огляду на норми середньої яскравості удосконалених дорожніх покриттів.

Рівень освітлення проїзної частини вулиць і доріг із непрямолінійною геометрією (майдани, розв'язки, закруглення тощо), а також із перехідними й нижчими типами покриттів регламентується величиною середньої горизонтальної освітленості [102].

Середня освітленість покриттів тротуарів, що прилягають до проїзної частини вулиць, доріг і майданів, повинна бути не менше половини середньої освітленості покриття проїзної частини цих вулиць, доріг і майданів.

Норма освітлення трамвайних шляхів, розташованих на проїзній частині вулиць, повинна відповідати нормі освітлення вулиці.

В установках зовнішнього освітлення варто використовувати прилади з енергоекономічними джерелами світла, такими як натрієві лампи високого тиску, металогалогенні лампи, розрядні лампи низького тиску (натрієві, люмінесцентні типу T5, компактні люмінесцентні) та світлодіоди [103].

В установках з ускладненим доступом для обслуговування світильників доцільно застосовувати безелектродні розрядні (індукційні) лампи (БІЛ), які мають термін служби не менше ніж 50 тис. год.

Під час проєктування установок зовнішнього освітлення особливу увагу варто приділяти оптимізації вибору й розміщенню освітлювальних приладів із найповнішим урахуванням їхнього світлорозподілу. Критерієм оптимізації проєктного рішення є енергоекономічність – мінімум потужності освітлювальної установки під час забезпечення нормованих кількісних та якісних показників. Під час розміщення світильників необхідно зважати на можливість зручного під'їзду для монтажу й експлуатації [104].

Для забезпечення зорової орієнтації водіїв і пішоходів світильники необхідно розташовувати так, щоб утворена ними лінія чітко й однозначно вказувала напрям дороги. Не дозволено в нічний час часткове відключення світильників у разі їхнього однорядного розташування й установці по одному світильнику на опорі.

На території автозаправних станцій і автостоянок, що прилягають до вулиць і доріг із транспортним рухом, світильники розсіяного світла повинні встановлюватися на висоті не менше ніж 3 м за світловим потоком ламп до 6000 лм. Для освітлення зазначених

об'єктів не дозволено застосовування прожекторів, розташованих на дахах і навісах і спрямованих у бік вулиці або дороги [105].

Освітлення наземних пішохідних переходів має забезпечувати людям безпечно перетинання проїзної частини і можливість бачити перешкоди й дефекти дорожнього покриття.

Під час виділення пішохідних переходів маячками або спеціальними світловими знаками на кожній стороні й на центральному острові їх потрібно встановлювати на висоті 2–3 м над проїзною частиною. Яскравість цих приладів повинна бути не менше 300 кд/м<sup>2</sup>. Припустима частота миготіння 40–60 спалахів за хвилину. Для попередження як водіїв, так і пішоходів рекомендується використовувати в зоні переходу контрастне за кольорами освітлення.

У житлових кварталах варто зважати на те, що пристрої зовнішнього освітлення повинні естетично сполучатися з навколишніми архітектурними рішеннями. Це стосується форми і пропорцій світильників, кронштейнів та опор, висоти установки освітлювальних приладів. Для забезпечення сучасного дизайну вулиць необхідно приділяти увагу архітектурним рішенням елементів установки. Дозволяється використовувати опори зовнішнього освітлення для установки транспортних знаків, табличок із найменуваннями вулиць, урн, квіткових горщиків. Варто передбачати, щоб зелені насадження в майбутньому з їхнім зростанням не екранували світловий потік. У разі наявності зелених насаджень допускається для підсвічування крон застосовувати освітлювальні прилади, що випромінюють частину світлового потоку до верхньої напівсфери.

Для підвищення привабливості житлової зони рекомендується варіювати як рівень освітлення, так і його кольоровість.

У житлових мікрорайонах можливе використання настінних світильників або поздовжно-підвісної системи. Це забезпечує свободу руху пішоходам і водіям, а також зниження капітальних витрат [106-110].

Під час обладнання житлових зон світними дорожніми знаками й покажчиками треба контролювати їхню яскравість для запобігання зниження гостроти зору водіїв і зменшення загального естетичного враження.

Зовнішнє освітлення потребує керування, незалежне від керування освітленням усередині будівель. Вмикання освітлення може проводитися з будівлі.



#### *1.4 Аналіз існуючих систем регулювання зовнішнього освітлення*

**Управління вуличним освітленням за задалегідь заданим графіком.** При даному способі управління включення та відключення освітлення відбувається за задалегідь заданим графіком. Критеріями складання графіка можуть бути астрономічні спостереження про час заходу сонця і сходу сонця, світлові діаграми місця встановлення освітлювальних установок, або зміна інших параметрів, важливих для цієї системи. На даний час такий спосіб управління є найбільш поширеним [111-120].

Розглянемо цей спосіб управління з погляду вимог до ефективності, представлених вище. При управлінні за заданим графіком відповідність освітленості рівнем нормативної документації має закладатися на етапі проектування системи освітлення. Зважаючи на малу гнучкість керуючого графіка, подібні системи не є економічними. Також варто зазначити, що в цьому випадку система враховує лише один певний критерій, за яким здійснюється керування (як правило, це освітленість). Для сучасних міст наявність лише одного критерію управління явно недостатньо. Крім того, відсутність зворотних зв'язків у таких системах значно знижує точність їх роботи при відхиленнях зовнішніх умов від задалегідь заданих. З тієї ж причини в системі, організованій таким чином, утруднено моніторинг стану освітлювальних установок та їх оперативне обслуговування у разі виходу з ладу.

Основною перевагою такої системи є простота її організації – не потрібна розробка складних алгоритмів управління, а для розширення мережі потрібне тільки збільшення потужності обладнання, що живить лампи. Таким чином, системи управління за задалегідь заданим графіком не відповідають більшості вимог до сучасних мереж вуличного освітлення великих міст, оскільки вони не забезпечують необхідний рівень гнучкості, та кошти, витрачені на електроенергію, під час експлуатації такої мережі перевищують економію від простоти її організації. Однак, для невеликих поселень і сіл, а також для зовнішнього освітлення великих підприємств цей спосіб може бути використаний через свою простоту.

**Управління вуличним освітленням за даними, які отримують із датчиків за допомогою задалегідь визначених (детермінованих) алгоритмів.** У системах управління, організованих таким чином, з'являється зворотний зв'язок – інформація, яку

отримують із датчиків. Як правило, використовуються датчики освітленості та/або руху. Інформація, що отримується з датчиків, дозволяє в режимі реального часу відстежувати стан системи освітлення, оцінювати відповідність рівня освітленості нормативам, проводити моніторинг енергоспоживання та справності світильників. Наявність оперативної інформації дозволяє зменшувати освітленість, отже, і потужність, споживану освітлювальними установками, не виходячи за рамки, встановлені нормативною документацією. Цей підхід дозволяє значно збільшити енергоефективність вуличного освітлення. Введення датчиків струму дозволяє здійснювати моніторинг енергоспоживання та відстежувати несправності у системі. Подібні системи нині активно розробляються і впроваджуються як в Україні, так і за кордоном [121-130].

Основним недоліком таких систем є їх велика вартість, проте, як правило, початкові вкладення окупаються за рахунок економії електроенергії. У системах управління за заданими алгоритмами зменшується вплив людини на систему управління, тому що людині важко оперативно обробити інформацію, що надходить із численних датчиків, і прийняти правильне рішення. Керуючі програми з детермінованими алгоритмами краще справляються з цим завданням, але у великих містах, за наявності великої кількості критеріїв ефективності, істотний вплив випадковості та невизначеності зовнішніх факторів, вони не можуть забезпечити прийняття найбільш ефективного рішення. У зв'язку із цим виникає наступний клас систем керування.

**Інтелектуальні системи керування.** У цих системах зберігаються всі властивості попереднього класу систем, але управління здійснюється не за жорстко заданими алгоритмами, а за допомогою технологій штучного інтелекту. Алгоритми управління можуть бути реалізовані з використанням нечіткої логіки, нейронних мереж та/або інших способів управління. Зберігаючи всі переваги систем із детермінованими алгоритмами, інтелектуальні системи забезпечують гнучкість управління та найкращі результати в умовах невизначеності вхідних даних. Крім того, інтелектуальні алгоритми показують свою високу ефективність за наявності великої кількості критеріїв управління в інших галузях промисловості. Нині існують наукові розробки у цій галузі. У роботі [5] наводиться алгоритм системи управління вуличним освітленням на основі нечіткої логіки, розроблено систему підтримки прийняття рішень і доведено економічну ефективність такої системи. У роботах [6], [7] розглядається застосування нейронних мереж для

прогнозування рівня завантаженості вулиць і прийняття на основі цієї інформації рішення про можливість димування освітлення. Авторами отримані результати, що доводять суттєву економію під час використання нейронних мереж у системі управління вуличним освітленням [7]. У роботах зарубіжних учених [8], [9] пропонується також використання інтелектуальних алгоритмів управління вуличним освітленням.

### **Способи і засоби управління освітлення**

Правильно вибрана і здійснена система управління освітлювальними мережами призводить до більш організованого використання освітлювальної установки (ОУ), що покращує умови освітлення і тим самим призводить до підвищення продуктивності праці, зниження браку вироблюваної продукції і зменшення виробничого травматизму.

Управління освітлювальними мережами – складне технічне завдання, від рішення якого багато в чому залежать умови експлуатації ОУ, здійснення керування освітленням, а також створення передумов для раціонального витрачання електроенергії.

**Раціональна система управління** освітленням дозволяє істотно понизити витрати електроенергії на освітлення і здійснює включення або відключення освітлювальних приладів за наступних умов [131]:

- залежно від рівня природної освітленості приміщень;
- по досягненню певного часу доби;
- при натисненні людиною кнопок управління;
- при появі сигналів від датчиків присутності.

Управління освітленням залежно від місця розташування пунктів управління може бути **місцевим** або **дистанційним** [132].

При місцевій системі управління включення і виключення освітлення робляться комутаційними апаратами, встановленими в кожному з освітлюваних приміщень або на кожній з освітлюваних ділянок відкритої території.

При централізованій дистанційній системі управління усе управління освітленням зосереджене в одному або декількох місцях, наприклад, на центральному диспетчерському пункті (ЦДП).

Централізоване дистанційне керування ділиться на дві системи управління.

Якщо на освітлюваному об'єкті вся ОУ живиться від розподільного щита окремими лініями, то можливо централізовано управляти з пунктів живлення (ПП) усім освітленням об'єкта

безпосередньо комутаційними апаратами, що встановлені на цих лініях. Така схема живлення освітлювальних мереж зустрічається, зазвичай, тільки на невеликих промислових об'єктах і в різних адміністративних, навчальних, лікувальних й інших аналогічних будівлях.

На великих об'єктах ОУ живиться окремими лініями від розподільних пристроїв різних підстанцій. У цьому випадку для можливості здійснення централізованого дистанційного керування на кожній з освітлювальних ліній встановлюються блоки або ящики управління, дистанційне керування якими зосереджується в одному або декількох пунктах управління (наприклад, ЦДП).

Так само, як і при системі місцевого управління, комутаційні апарати централізованого дистанційного керування можуть включатися і відключатися вручну або за допомогою автоматів.

Таким чином, можливе управління: **місцеве індивідуальне і групове; централізоване дистанційне** з розподільного щита пунктів живлення (ПП) – за допомогою комутаційних апаратів, встановлених на освітлювальних лініях, що відходять, і централізоване дистанційне з пунктів управління (ПУ) – за допомогою проміжних пристроїв управління (або пристроїв, що керують струмом певної напруги контакторів або магнітних пускачів) [133].

При місцевому груповому управлінні кожним комутаційним апаратом керується не один, а група світильників або прожекторів.

Таким чином, залежно від способу управління за допомогою місцевих комутаційних апаратів керування може бути **ручним** або **автоматичним**.

При ручному управлінні включення і виключення освітлення робляться, коли це необхідно, безпосередньо обслуговуючим персоналом.

#### **Основні засоби управління освітленням**

Включення і виключення окремих світильників або груп світильників робляться вимикачами, автоматами або рубильниками. При дистанційному керуванні освітленням застосовуються додатково магнітні пускачі або контактори, автомати і реле, різноманітні блоки управління. Для контролю за виконанням команд з пунктів управління встановлюються сигнальні лампи.

Мережі управління виконуються кабелями і дротами.

## Системи управління освітленням

### Класифікація систем автоматичного управління(САУ) освітленням

Залежно від основної мети, завдання управління класифікуються таким чином [134]:

- системи стабілізації;
- система програмного управління;
- системи, що стежать.

У системах стабілізації робочий параметр об'єкта (регульована величина) підтримується постійним у часі при постійному завданні. Наприклад, для стабілізації робочих характеристик світлодіода необхідно підтримувати постійну величину струму того, що протікає через нього.

У системах програмного управління робочий параметр об'єкта змінюється в часі за заздалегідь *відомим* законом, відповідно до якого змінюється завдання.

У системах, що стежать, робочий параметр об'єкта змінюється в часі за заздалегідь *невідомим* законом, який визначається якимсь зовнішнім незалежним процесом [135].

Залежно від кількості регульованих величин системи можуть бути одновимірними (одна регульована величина) або багатовимірними (декілька регульованих величин).

САУ умовно можна розділити на два основні класи: **локальні і централізовані**.

Для *локальних* систем характерне управління тільки однією групою світильників, тоді як *централізовані* системи допускають підключення практично нескінченного числа окремо керованих груп світильників.

У свою чергу, по охоплюваній сфері управління *локальні* системи можуть бути розділені на «системи управління світильниками» і «системи управління освітленням приміщень», а *централізовані* – на спеціалізовані (лише для управління освітленням) і загального призначення (для управління усіма інженерними системами будівлі опалюванням, кондиціонуванням, пожежною й охоронною сигналізацією і так далі).

#### Локальні системи управління освітленням

Локальні «системи управління світильниками» у більшості випадків не вимагають додаткової проводки, а іноді навіть скорочують необхідність у прокладенні дротів. Конструктивно вони виконуються в

малогабаритних корпусах, які закріплюються безпосередньо на світильнику або на колбі в одній із ламп [136].

Часто світильники, обладнані датчиками, обмінюються між собою інформацією. За рахунок цього навіть у разі, якщо є присутність однієї людини, світильники, що знаходяться на його шляху, залишаються включеними.

### **Централізовані системи управління освітленням**

Централізовані системи управління освітленням, які якнайповніше відповідають назві «інтелектуальних», будуються на основі мікропроцесорів, які забезпечують можливість практично одночасного багатоваріантного управління значним (до декількох сотень) числом світильників. Такі системи можуть застосовуватися або тільки для управління освітленням, а також для взаємодії з іншими комунікативними та електротехнічними системами (наприклад, з телефонною мережею, Інтернет-мережею, системами безпеки та ін.).

Централізовані системи видають сигнали, що управляють, на світильники по сигналах локальних датчиків. Проте перетворення сигналів відбувається в єдиному (центральному) вузлі, який надає додаткові можливості вручну управляти освітленням будівлі. Одночасно істотно спрощується ручна зміна алгоритму роботи системи.

Безумовною перевагою систем управління світильників (СУО) є простота їх монтажу й експлуатації, а також надійність.

Проте, якщо вимагається керування освітлювальним обладнанням великих територій або постає необхідність індивідуального управління усіма світильниками в освітлювальній мережі, СУО світильників виявляються досить дорогим засобом управління, оскільки вимагають установки однієї СУО на один світильник. У цьому випадку зручніше використати СУО певних ділянок (ДСОУ), які містять менше електронних компонентів, ніж вимагається у попередньому випадку, і тому дешевші [137].

ДСОУ є блоками, які конструктивно вбудовані в розподільні щити. Системи цього типу, як правило, здійснюють одну функцію або фіксований набір функцій, вибір між якими робиться перестановкою перемикачів на корпусі або виносному пульті управління системи. Подібні СУО відносно прості у виготовленні і, зазвичай, побудовані на дискретних логічних мікросхемах.

Датчики СУО приміщень завжди є виносними, вони мають бути розміщені на відповідній ділянці, що освітлюється з керованими

ОУ, і до них потрібна спеціальна проводка, що є деяким практичним недоліком.

### ***1.5 Особливості застосування енергозберігаючих технологій у системах вуличного освітлення***

В Україні, як і в світі, активно розвивається такий напрям науки і техніки як волоконна оптика та волоконно-оптичні технології. Волоконно-оптичні системи передавання інформації (ВОСП) забезпечують передавання інформації з найбільшою швидкістю на значні відстані. У свою чергу, стає актуальним метрологічне забезпечення ВОСП.

Метою удосконалення еталону було забезпечення на сучасному рівні єдності і вірогідності вимірювань енергетичних параметрів випромінювання та розширення його функцій на нові типи ЗВТ, у т.ч. для ВОСП. Основні завдання – це підвищення метрологічних характеристик, розширення динамічного діапазону для відтворення, зберігання та передачі одиниці потужності неперервного випромінювання у світловоді та розширення його функцій, а саме: оснащення державного еталона апаратурою для відтворення, зберігання та передавання одиниці часу розповсюдження випромінювання у світловоді. Зазначений еталон є найвищою ланкою державної перевірконої схеми для даних видів вимірювань [138].

Удосконалений еталон передбачений для відтворення і зберігання одиниць середньої потужності в імпульсі випромінювання, потужності неперервного випромінювання у світловоді та часу розповсюдження випромінювання у світловоді, а також для передачі розміру одиниць робочим еталонам і безпосередньо робочим засобом вимірювальної техніки, які застосовуються в Україні, з метою забезпечення єдності і необхідної точності вимірювань у галузях волоконно-оптичних телекомунікацій, оборонної промисловості, наукових досліджень, оптичної локації, далекометрії та ін.

Відтворення одиниці потужності неперервних світлових потоків випромінювання у світловоді, джерелом якого є стабілізований лазер, базується на вимірюванні потужності випромінювання за допомогою еталонного первинного вимірювального перетворювача [139].

Враховуючи той факт, що дана монографія покликана допомагати фіхівцям у вирішенні завдання підвищення надійності життєзабезпечення населених пунктів шляхом розроблення і

застосування електротехнічних комплексів вуличного освітлення населених пунктів для забезпечення надійного ефективного освітлення, за рахунок застосування сучасних методів інтелектуального регулювання роботи освітлювальних пристроїв, для досягнення поставленої мети необхідне розв'язання таких завдань:

1. Проаналізувати сучасний стан і визначити базові складові у перспективі розвитку систем штучного зовнішнього освітлення в Україні.

2. Розробити сучасну структуру енергоефективного управління електротехнічним комплексом вуличного освітлення з переведенням його на інший, більш перспективний рівень функціонування.

3. Обґрунтувати та розробити схемні рішення, з метою реконфігурації електротехнічних комплексів вуличного освітлення при впровадженні джерел розосередженої генерації електричної енергії.

4. З метою підвищення енергоефективності вуличного освітлення вдосконалити принцип побудови структури електротехнічного комплексу вуличного освітлення населених пунктів з інтеграцією декількох видів джерел електричної енергії.

5. Розробити закон керування для регулятора комплексу вуличного освітлення населених пунктів, що дозволить забезпечити енергоефективні режими функціонування енергетичного комплексу.



## РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

### *2.1 Постановка завдань модернізації електротехнічних комплексів вуличного освітлення з метою підвищення енергоефективності їх використання*

Таким чином, вимоги, які ставляться до метою підвищення енергоефективності електротехнічних комплексів вуличного освітлення, такі:

1. Достатня освітленість робочої поверхні.
2. Рівномірне освітлення робочої поверхні.
3. Відсутність затіння рухомих об'єктів і робочої поверхні.
4. Захист від засліплення джерелом світла.
5. Вибір ефективного напрямку розповсюдження світла.

Все це сприяє підвищенню рівня ефективності використання штучних джерел світла при їх використанні у складі електротехнічних комплексів вуличного освітлення населених пунктів і підвищує рівень енергоефективності освітлювальних комплексів в цілому.

До основних факторів, що мають вагомий вплив на проектування електротехнічних комплексів вуличного освітлення населених пунктів, можна віднести:

– середньостатистичну інтенсивність руху транспортних засобів;

– категорію дороги;

– кількість смуг руху;

– наявність підземного чи надземного переходів;

– особливості пішохідної доріжки;

– наявність велосипедної доріжки;

– наявність паркувальних місць;

– коефіцієнт забудови досліджуваного кварталу;

– наявність об'єктів соціальної, адміністративної чи торговельно-розважальної сфери;

– вид і стан покриття дороги та пішохідної доріжки;

– відстань від опори світильників до краю проїжджої частини

та ін.

Функціональною залежністю системи управління вуличним освітленням є залежність потужності освітлювальної установки від природної освітленості  $P=f(E)$ . Для отримання цієї залежності

необхідно визначити залежність освітленості, що створюється на дорожньому покритті освітлювальною установкою від потужності  $E_{осв}=f(P)$ . Освітленість на дорожньому покритті можна визначати як суму освітленості, створеної освітлювальною установкою і природною освітленістю:  $E_{д.п.}=E_{осв}+E$ . Для знаходження кожного з доданків цієї суми необхідно знати силу світла джерела освітлення і кут падіння його променів на розрахункову площину. Між тим, для штучного джерела освітлення ці параметри можуть бути розраховані, а для природної освітленості вони залежатимуть від багатьох випадкових факторів, що мають стохастичний характер [140].

Далі, визначивши рівень освітленості на дорожньому покритті, що дорівнює нормі, і, приймаючи природне освітлення за незалежну змінну, можна знайти залежність  $P=f(E)$ .

У зв'язку з цим формалізація завдання зі знаходження залежності  $P=f(E)$  в аналітичному вигляді виразити складно, враховуючи нелінійність і залежність від випадкових факторів.

## ***2.2 Підхід до побудови структури схеми системи електротехнічного комплексу вуличного освітлення населених пунктів***

Розроблювана система управління вуличного освітлення (СУВО) повинна виконувати наступні функції [141-150]:

- автоматичне вмикання світла або вимикання світла за дистанційною командою СУВО;
- відключення окремих груп світильників за розкладом або за командою із СУВО;
- інформування про стан обладнання шафи управління за допомогою модему GSM;
- автоматичне інформування СУВО про підвищення температури або появи ознак диму у шафах управління за умови спрацювання датчиків диму або температури;
- передавання інформації про спроби проникнення у шафи управління та передавання інформації про місцезнаходження шафи та часу, коли була проведена спроба проникнення;
- можливість розширення функціоналу шафи для інших завдань завдяки вільному входу контролера;
- дистанційне налаштування деяких параметрів шафи із СУВО до конкретної шафи по каналу GSM.

Існує ряд переваг розроблюваної системи в порівнянні зі звичайною системою освітлення, такі як:

- додаткова економія енергії за рахунок установки датчиків присутності людей і датчиків зовнішньої освітленості;
- адаптація рівня освітленості і колірної температури відповідно до потреб користувачів, тобто створення біологічно комфортного для людини світлового середовища;
- наявність автоматики, що забезпечує більш комфортне використання системи, наприклад, за допомогою заздалегідь заданих параметрів;
- функції діагностики, що дозволяють спростити обслуговування системи;
- підтримка постійної величини світлового потоку світильників протягом терміну служби.

Інтелектуальні функції освітлення можуть бути реалізовані в децентралізованій або централізованій системах управління. При використанні в системах централізованого управління застосовуються різні дротові або бездротові системи зв'язку.

Основні функції датчиків в системах освітлення [151-160]:

- виявлення присутності людей;
- вимір рівня зовнішньої освітленості.

### ***2.3 Структура електротехнічного комплексу вуличного освітлення***

Для виконання будь-якої дії необхідні, щонайменше, два пристрої: передавач і приймач сигналу. При цьому слід враховувати, що один із пристроїв (або відразу обидва) може працювати як приймач. Початком появи РЧ-технології можна вважати винахід радіо, але застосування його під час автоматизації установок освітлення вулиць стало можливим лише недавно.

Багато фахівців сходиться у думці, що незважаючи на значні зміни, що відбуваються в багатьох галузях промисловості, в індустрії засобів управління вуличним і тунельним освітленням бездротові пристрої на даний час не знаходять помітного застосування. Однак, навіть тестові впровадження таких систем освітлення справляють вражаючий ефект як за економічним критерієм, так і за функціональними можливостями.

Функції системи можуть змінюватися, проте інформація, що передається, може містити такі типи і значення, як: освітленість,

наявність і інтенсивність руху на дорозі, вологість, температура та інші параметри. При цьому звичайна система УВО може бути масштабована та розширена додатковими датчиками і з цього випливає, що в системі з'являються додаткові можливості [161].

Складена концепція бездротового зв'язку та управління системою освітлення є привабливою для багатьох сфер використання, проте вона сама по собі не виступає стимулом для повсемісного використання і широкого поширення цієї технології серед фахівців, що встановлюють вимоги для інженерних рішень. Для стимулювання поширення бездротових пристроїв можливо використовувати економічні переваги і можливість тонкої настройки, що можливі для системи освітлення міста для освітлення вулиць і доріг не тільки відповідно до технічних норм, а й з урахуванням загальноміських потреб.

Оскільки розроблювана система має високий рівень ефективності та функціональності бездротових систем управління вуличним освітленням (УВО), то, застосовуючи центральний сервер, що зменшить споживання енергії на 40%, зможе зменшити експлуатаційні витрати на 30%. При цьому слід враховувати, що несправності визначаються і розпізнаються миттєво, що скорочує час простою світильників на 75%.

Багато фахівців оцінюють упровадження та грамотну експлуатацію бездротових систем управління УОУ як можливість економії електроенергії міста, завдяки якій можна економити до 40% від загального енергоспоживання при освітленні міста. При довжині доріг України, що дорівнює близько 4800 км, сумарна потужність вуличних освітлювальних установок становить 40 МВт [7].

Аналізуючи дані щодо залежності інтенсивності умовної світимості зовнішніх природних і штучних джерел, можна зробити висновок, що рівні впливу можуть бути визначені нечіткими інтервалами (дуже низький, низький, задовільний, інтенсивний).

Між тим, з точки зору освітлення дороги та регулювання світлового потоку від вуличних світильників шляхом зміни величини сили струму, з метою зменшення рівня використання електричної енергії, на разі не є ефективним. Даний підхід регулювання необхідний для освітлення доріг у нічний час, при сприятливих погодних умовах і зменшенні інтенсивності транспортного руху в нічний час.

При нормованій яскравості більше  $0,8 \text{ кд/м}^2$  або середній нормованій освітленості більше 15 лк у нічний час допускається зниження рівня вуличного освітлення:

- на 20% при зменшенні інтенсивності транспортного руху до  $\frac{1}{2}$  максимальної величини ( $k_{\text{max}}$ );
- на 30% при зменшенні інтенсивності транспортного руху до  $\frac{1}{3}$  максимальної величини ( $k_{\text{max}}$ );
- на 40% при зменшенні інтенсивності транспортного руху до  $\frac{1}{4}$  максимальної величини ( $k_{\text{max}}$ );
- на 50% при зменшенні інтенсивності транспортного руху до  $\frac{1}{5}$  максимальної величини ( $k_{\text{max}}$ ).

Тобто для категорії доріг класу А і Б та підкласу В1 можливе регулювання світлового потоку від вуличних світильників із лампами, в яких можливе регулювання світлового потоку величиною сили струму, що проходить через них.

Так як інтенсивність руху транспорту не є величиною сталою, а залежність як категорії (класу) дороги, так і від пори року, і часу доби, від стану дорожнього покриття та його освітлення і погодних умов, тому є можливість регулювання зовнішнього освітлення дороги в залежності від вище перелічених факторів, враховуючи періодичну зовнішню світлімість у різних інтервалах часу.

Регулювання зовнішнього освітлення здійснюється шляхом регулювання світлового потоку світильників, а джерелами світлового потоку є лампи, якими вони укомплектовані. Але не всі типи ламп придатні для регулювання плавної зміни світлового потоку.

Так, газорозрядні лампи при зменшенні сили струму на 15% негативно впливають на стабільність горіння газового розряду, що стає причиною мерехтіння і зменшення терміну служби лампи у результаті прискорення виходу з ладу електродів.

У світлодіодних світильників джерелом світла є світлодіоди, які мають високу світловіддачу і великий термін служби, а також мають можливість глибокого регулювання світлового потоку від 10% до 100%, і досить легкий спосіб його реалізації, шляхом зміни сили струму, який проходить через світлодіоди.

У світлодіодів світильників, з метою регулювання світлового потоку, використовують електронні імпульсні джерела світла живлення (ЕІДЖ), за допомогою яких можна регулювати не тільки величиною світлового потоку світильників, шляхом зміни сили струму, який буде проходити через світлодіоди, а в залежності від складності ЕІДЖ може

мати деякі інтелектуальні властивості, в результаті наявності мікропроцесора чи мікроконтролера, що забезпечує виконання самодіагностики системи, моніторингу стану світлодіодів і стану електричної мережі живлення, визначати проміжки робочого часу включення системи освітлення, згідно попередньо заданого розкладу (графіка інтенсивності світлового потоку та робочих інтервалів часу доби протягом певного періоду).

При наявності каналу зв'язку між мережею світильників, укомплектованих ЕІДЖ та диспетчерською службою, існує можливість передачі інформації про стан функціонування ЕІДЖ і працездатності світильників з метою виявлення відхилень у роботі ЕІДЖ і світильників, які потребують заміни.

Отже, обладнання системи управління зовнішнім освітленням має ряд додаткових переваг, з точки зору економії: 1) зменшення експлуатаційних витрат і виявлення світильника, який вийшов із ладу; 2) зменшення грошових витрат на заміну світильника або його ремонт; 3) своєчасне виявлення відхилення в роботі ЕІДЖ та його заміні; 4) своєчасне виявлення місця і причини виникнення несправності (відхилення в роботі) світильників.

Централізоване дистанційне управління зовнішнього освітлення (ЦДУЗО) міських доріг являє собою взаємозв'язаних в одну систему наступних складових: 1) диспетчерський пункт (ДП); 2) сервер (СР); 3) підстанція (ПС); 4) мережа світильників (С), укомплектованих ЕІДЖ і фотодіодами (ФД); 5) канал управління світильників (КУС); 6) пристрій управління світильниками (ПУС).

Мережа Інтернет є засобом зв'язку між комп'ютером диспетчера (КД) і сервером (СР) через пристрої доступу до сервера (ПДСРД) і мережу Інтернет (МІ), а потім через сервер і мережу Інтернет і пристрої доступу до сервера підстанції (ПДСРП) до виконавчого обладнання (ВО) і комутаційного обладнання підстанції (КОП), яка на даний час необхідна для диспетчера.

Одержавши інформацію від серверу (СР), яку передано з комп'ютера (КД), виконавче обладнання підстанції (ВОП) включає силові контакти (СК) комутаційного обладнання підстанції, забезпечуючи подачу або відключення напруги електромережі живлення світильників (ЕМЖС) на лінію освітлення, і світильники (С), які підключені до даної підстанції (ПС).

З метою регулювання світлового потоку (Ф) світильників (С), підстанція обладнана пристроєм управління світильниками (ПУС), які

підключені до даної підстанції (ПС). Виконавче обладнання підстанції (ВОП) обмінюється інформацією, одержаною від сервера (СР) із управляючим пристроєм світильника (ПУС). Програмне забезпечення комп'ютера диспетчера (КД) повинне забезпечувати управління як окремими світильниками, так і групами світильників.

У відповідності до заданого графіка зміни рівня зовнішнього освітлення програмне забезпечення КД посилає команду про зміну рівня світлового потоку на конкретних світильниках. ВОП передає вхідну інформацію (команду) на ПУС, який разом із підключеним до нього каналом управління світильниками (КУС) формує локальну мережу управління освітленням (ЛМУО). Аналізуючи одержану команду, ПУС визначає, які світильники із усієї мережі управління повинні змінити величину світлового потоку ( $\Phi$ ), і посилає управляючий сигнал для даних світильників по каналу управління (КУ). Канал управління світильниками (КУС) може бути різним за способом його реалізації, а саме:

- 1) як окремий кабель із провідниками управління;
- 2) безпроводний КУС із використанням радіоканалу;
- 3) КУС із використанням уже існуючих ліній електроживлення, підведених до світильників.

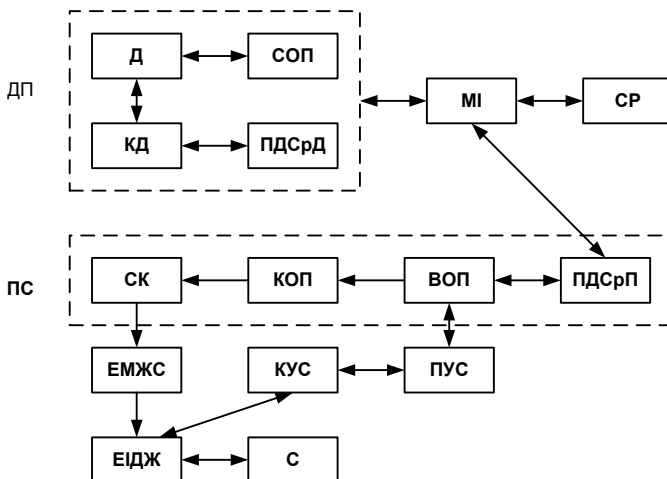


Рисунок 2.1 – Принципова схема функціонування централізованого диспетчерського управління мережею світильників зовнішнього освітлення (ЦДУЗО) на міських автомагістралях і місцях загального використання населенням

На рис. 2.1: ДП – диспетчерський пункт; ПС – підстанція; СР – сервер; МІ – Інтернет; ЕМЖС – електромережа живлення світильників; КУС – канал управління світильниками; Д – диспетчер; КД – комп’ютер диспетчера; ПДСрД – пристрій доступу до сервера із диспетчерського пункту; ПДСрП – пристрій доступу до сервера із підстанції; ВОП – виконавче обладнання підстанції; КОП – комутаційне обладнання підстанції; СК – силові контакти; ПУС – пристрій управління світильниками; ЕІДЖ – електронно-імпульсне джерело живлення світильників; С – світильники.

Принципова схема ЦДУЗО передбачає дистанційне управління електроживленням світильників шляхом  $КД \leftrightarrow СР \leftrightarrow ВОП \leftrightarrow КОП \leftrightarrow СК \leftrightarrow ЕМЖС \leftrightarrow ЕІДЖ \leftrightarrow С$ , а також дистанційне управління світловим потоком ( $\Phi$ ) світильників шляхом:  $КД \leftrightarrow СР \leftrightarrow ВОП \leftrightarrow ПУС \leftrightarrow КУС \leftrightarrow ЕІДЖ \leftrightarrow С$ . Зв’язок ДП із ПС та СР здійснюється через мережу Інтернет, маючи двосторонній зв’язок. А через ЕМЖС і КУС здійснюється електроживлення світильників і управління рівнем світлового потоку ( $\Phi$ ) світильників (С) через ЕІДЖ, яке забезпечує зворотній зв’язок через  $КУС \leftrightarrow ПУС \leftrightarrow ВОП$  із СР і ДП через МІ, що забезпечує передачу на ДП всієї інформації про стан функціонування ЕІДЖ і довговічність світильників, що знижує рівень експлуатаційних витрат і ремонт у локальній мережі управління освітлення (ЛМУО).

У той же час виконавче обладнання підстанції (ВОП) аналізує інформацію, одержану від СР, і має можливість обмінюватися інформацією із ПУС, який через канал управління світильниками передає відповідну команду на ЕІДЖ, яке відповідним чином управляє рівнем світлового потоку ( $\Phi$ ), окремими світильниками та передає одержану інформацію від мережі світильників через  $КУС \leftrightarrow ПУС \leftrightarrow ВОП \leftrightarrow СР \leftrightarrow КД$ , через МІ диспетчеру.

Якщо замінити пристрої управління світильниками (ПУС) на автоматичний пристрій управління світильниками (АПУС), який має енергонезалежний годинник реального часу і можливість завжди правильно визначати дату і час доби, із можливістю зміни рівня світлового потоку ( $\Phi$ ) щодоби протягом календарного року, у відповідності до завчасно поданого графіка управління світильниками, із визначенням конкретного світильника з рівнем зміни світлового періоду доби. Тоді АПУС визначає команди управління рівнем зовнішнього освітлення, які передаються по каналу управління світильників (КУС) через ЕІДЖ до конкретного світильника у визначений час доби, відповідний даті року.



Пристрій АПУС функціонує незалежно від виконавчого обладнання підстанції і здійснює управління світильниками по КУС, який може бути реалізований різними способами. При наявності АПУС відсутня необхідність удосконалення диспетчерського пункту (ДП) і сервера (СР), досить нескладна організація локальної мережі управління освітленням.

Якщо АПУС надати додаткові функції щодо управління комутаційним обладнанням електромережі світильників із календарним графіком управління світильниками через комутаційне обладнання підстанції (КОП), тоді можливе функціонування локальної мережі управління зовнішнім освітленням (ЛМУО) без наявності диспетчерського пункту і сервера, а також зникає необхідність зв'язку ДП, СР, ПС через ІМ. А, отже, за даних умов управління освітленням стає фактично централізованим, а структурна схема передбачає значне зменшення матеріальних і грошових витрат на облаштування ЛМУО, так і на її обслуговування та експлуатацію.

У той же час, децентралізована система управління зовнішнім освітленням (ДЦУЗО) має ряд недоліків, а саме:

- при внесенні змін у графік управління освітленням світильників, з метою внесення змін у програму АПУС, виникає необхідність у наявності спеціаліста по обслуговуванню АПУС та внесення змін у програму на підстанції;
- відсутній зворотній зв'язок про стан функціонування ЛМУО;
- відсутня можливість управління освітленням на даний момент часу без виїзду спеціаліста на підстанцію;
- конструктивна складність і збільшення вартості АПУС.

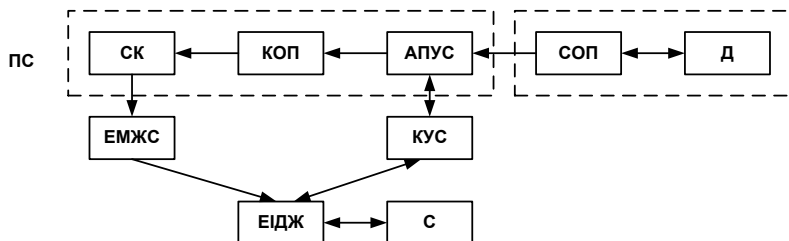


Рисунок 2.2 – Принципова схема децентралізованого управління зовнішнім освітленням на міських автомагістралях і в громадських місцях

Д – диспетчер, СОП – спеціаліст по обслуговуванню і програмуванню, ПС – підстанція, АПУС – автоматичний пристрій управління світильниками, КОП – комутаційне обладнання підстанції,

СК – силові контакти, ЕМЖС – електромережа живлення світильників, КУС – канал управління світильників, ЕІДЖ – електронно-імпульсне джерело живлення, С – світильники.

Децентралізована система управління зовнішнім освітленням передбачає відсутність диспетчерського пункту (ДП), сервера (СР), пристроїв доступу до сервера (ПДСрД), а також мережі Інтернет (МІ) як засобу зв'язку, виконавчого обладнання підстанції (ВОП) та заміну ПУС на АПУС, а також наявність обслуговуючого персоналу (ОП), який буде обслуговувати обладнання підстанції АПУС, КОП і СК, в результаті відсутності зворотнього зв'язку від АПУС до ОП, тобто обслуговування ПС здійснюється безпосередньо спеціалістами з обслуговування та програмування (СОП).

Канал управління світильниками є дорогим обладнанням і при виході з ладу зникає можливість управління рівнем світлового потоку від світильників (С). А при виході з ладу АПУС або ж збоїв у роботі можливе повне відключення управління електроживленням світильників та управління світловим потоком (Ф) від світильників.

Зворотній зв'язок між АПУС підстанції та підрозділом ОП можна встановити шляхом облаштування АПУС і підрозділ ОП радіозв'язком, що, в свою чергу, значно вплине на вартість системи управління обладнанням. Можливі й інші варіанти організації системи управління зовнішнім освітленням доріг із інтенсивним рухом транспорту.

Принципова схема змішаного управління світильниками передбачає централізоване управління електроживленням світильників і автономне управління рівнем світлового потоку від світильників, відповідно до реальних погодних умов, рівня забрудненості атмосфери, загального рівня освітленості, поверхні дороги та її фізичного стану, інтенсивності руху транспорту, часу доби.

Принципова схема змішаного управління зовнішнім освітленням доріг з інтенсивним рухом автотранспорту передбачає функціонування управління світловим потоком від світильників, які додатково укомплектовані пристроями управління світильниками (ПУС), шляхом інтеграції ПУС в ЕІДЖ або ж окремо вмонтовано у світильник, а тому в подальшому будемо його називати як індивідуальний пристрій управління світильниками (ІПУС). ІПУС функціонує в автономному та автоматичному режимах, у відповідності із завчасно поданим графіком управління світловим потоком і в залежності від конкретних зовнішніх умов навколишнього середовища

у конкретній локації розташування світильника або групи світильників, якими ПУС керує.

За даних умов, коли ПУС знаходиться безпосередньо на світильнику і функціонує згідно введеної в нього програми і графіка, тобто працює в автоматичному режимі, незалежно від диспетчера, тоді на підстанції буде відсутня ПУС, а в схемі управління відсутній канал управління світильниками (КУС). ПУС функціонує незалежно від диспетчера і підстанції та виконавчого обладнання.

Переваги змішаного управління зовнішнім освітленням доріг над централізованим у тому, що воно забезпечує гарантоване функціонування кожного окремо взятого світильника або групи світильників, у відповідності із заданим графіком та конкретними локальними умовами навколишнього середовища. В той же час, значне збільшення вартості ЕІДЖ і світильника в цілому є суттєвим недоліком змішаної системи управління зовнішнім освітленням (ЗмСУЗО).

ЗмСУЗО має такі недоліки:

- відсутність зворотнього зв'язку із диспетчером;
- необхідність наявності обслуговуючого персоналу для контролю, обслуговування, ремонту світильників;
- відсутність можливості управління зовнішнім освітленням у конкретних умовах.

У той же час, як значна перевага ЗмСУЗО перед ЦДУЗО і ДЦУЗО, є відсутність каналу управління світильниками (КУС), який передбачає виконання значних обсягів робіт під час монтажу, при ремонті й обслуговуванні, великі обсяги грошових витрат.

Зменшення грошових витрат на ЗмСУЗО можливе за умови, якщо один ПУС обслуговує групу світильників, які знаходяться практично в одних умовах.

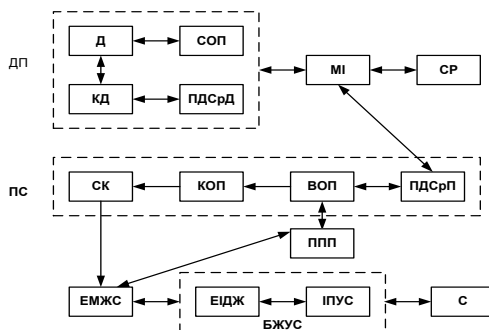


Рисунок 2.3 – Принципова схема функціонування ЗмСУЗО

ДП – диспетчерський пункт, Д – диспетчер, КД – комп’ютер диспетчера, ПДСрП – пристрій доступу до сервера підстанції, ВОП – виконавче обладнання підстанції, СОП – спеціаліст з обслуговування та програмування, ПС – підстанція, ПУС – електронне джерело живлення із інтегрованим у нього індивідуальним пристроєм управління світильниками, КОП – комутаційне обладнання підстанції, Ср – сервер, МІ – мережа Інтернет, СК – силові контакти, ЕМЖС – електромережа живлення світильників, ЕІДЖ – електронно-імпульсне джерело живлення, С – світильники, ППП – приймально-передавальний пристрій.

ЗМСУЗО забезпечує функціонування каналу електрозабезпечення і регулювання рівня світлового потоку від світильників без каналу управління світильниками (КУС), який можливо замінити іншими способами, без прокладання каналів управління, таких як радіозв’язок, шляхом установаження приймально-передавальних пристроїв на підстанції та в індивідуальних пристроях управління світильниками, встановлення зв’язку по ЕМЖС, шляхом використання проводової лінії.

Тобто, приймально-передавальний пристрій (ППП) інтегрований у виконавче обладнання підстанції і у груповий пристрій управління світильниками (ГПУС) у блоці живлення й управління світильниками (БЖУС) забезпечує зворотній зв’язок від ГПУС до ВОП через електричну мережу живлення світильників (ЕМЖС), із наступним виходом на сервер (Ср) і комп’ютер диспетчера (КД) через мережу Інтернет (МІ).

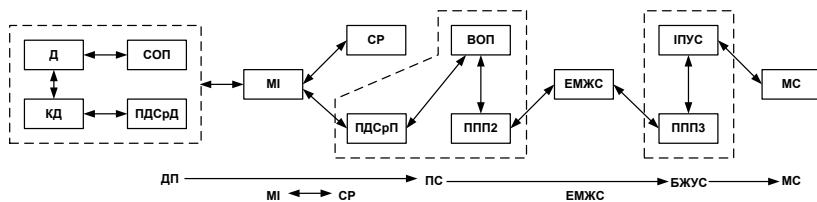


Рисунок 2.4 – Схема передачі інформації від БЖУС до КД

Тобто для передачі інформації від диспетчерського пункту до світильників або від світильників до диспетчерського пункту застосовується два способи передачі інформації:

1) між ДП і ПС передача інформації здійснюється через мережу Інтернет (МІ) і сервер (Ср);

2) між ПС і БЖУС передача інформації здійснюється через мережу електроживлення світильників (ЕМЖС), використовуючи приймально-передавальні пристрої (ППП), інтегровані у ВОП і ЕІДЖ, або виконані у вигляді окремого пристрою, розміщеного у корпусі світильника.

Передачу інформації між підстанцією (ПС) і блоком живлення та управління (БЖУС) можна здійснити або через ЕМЖС, шляхом частотних перетворень у ППП, або радіоканалом від ВОП до ЕІДЖ із виходом на ПСУС.

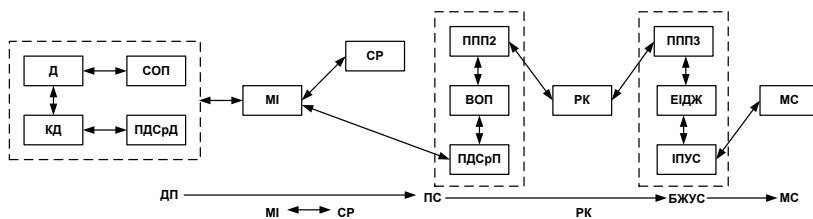


Рисунок 2.5 – Схема передачі управляючих сигналів від ПС до світильників радіоканалом

Якщо ЕІДЖ додатково обладнаний мікроконтролером і системою контролю за навколишнім середовищем (СКНС), тобто за станом забруднення атмосфери, температури, тиску, вологості повітря, освітлення дороги, інтенсивності руху транспорту в нічний час, тоді можливе ефективне управління БЖУС світловим потоком від світлодіодних світильників, забезпечивши мінімальне споживання електроенергії, тобто максимальний рівень економії грошових витрат за освітлення доріг у нічний час та ефективне споживання електричної енергії освітлювальними приладами.

Звичайно, додаткове обладнання системи управління зовнішнім освітленням передбачає додаткові матеріальні та фінансові витрати, які повинні бути доцільними й економічно ефективними на даний час.

#### **2.4 Місце систем акумулювання електричної енергії у структурах освітлювальних мереж населених пунктів**

На сьогоднішній день одним із провідних напрямків розвитку електроенергетики стала розробка систем виробництва електроенергії, які використовують джерела розосередженої генерації електричної

енергії, у тому числі на базі відновлюваних джерел електричної енергії, з подальшою їх інтеграцією у діючі електричні мережі [162].

До основних відновлюваних джерел електричної енергії, які можуть бути використані в системах освітлювальних мереж населених пунктів, відносять енергію сонця і вітру. Однією з особливостей роботи електростанцій, що використовують такі енергоресурси, є невідповідність (дисбаланс) між рівнями генерації і споживання електроенергії, який зумовлений нерівномірним характером споживання електроенергії протягом доби й мінливістю погодних умов.

Так, наприклад, на сонячних електростанціях максимальна потужність виробляється протягом світлового дня за умови, коли день безхмарний, і забезпечується максимальна інсоляція робочої поверхні сонячної панелі, а пік енергоспоживання припадає на вечірній і нічний час. На вітроелектростанціях при несприятливих вітрових умовах, коли швидкість вітру знаходиться у межах граничного значення, достатнього для запуску вітротурбіни, електроенергія може взагалі не вироблятися.

Для зниження коливань вихідної потужності до складу сонячних і вітрових міні-електростанцій додають накопичувачі електричної енергії. В якості таких накопичувачів використовуються вторинні електрохімічні джерела струму, що характеризуються властивістю багаторазового перезаряду. В альтернативній енергетиці найбільш розповсюджені свинцово-кислотні акумулятори, проте останнім часом їх витісняють літєві акумулятори. Це відбувається внаслідок того, що літєві акумулятори мають вищу щільність потужності, менші габарити і меншу вартість.

Особливістю літєвих акумуляторів є робоча напруга, яка складає від 3.7 до 4.2 В, недопустимість перегрівання, невідновлювана втрата ємності при розряді до напруги нижче 2.7...3 В, прискорена деградація при перезаряді вище 4.2 В, а також обмежена ємність окремої батареї. Тому для створення великих акумуляюючих потужностей на мережевих електростанціях, що підключаються до центральних енергосистем, а також на електростанціях автономного живлення, літєві акумулятори необхідно об'єднувати в послідовно-паралельні збірки [163].

Основною умовою створення значних акумуляюючих потужностей на базі збірок є застосування у них акумуляторів одного типу і з однаковими або незначно відмінними параметрами.

Для надійної роботи акумуляторної збірки всі ввімкнені елементи повинні мати однаковий рівень напруги і ємності. Наявність

хоча б одного елемента з відмінними параметрами призводить або до завчасного повного розряду цього акумулятора нижче допустимого рівня напруги при розряді, що зумовлює невідновлювану втрату ємності, або до перевищення максимального рівня напруги при заряді, що спричиняє перегрівання акумулятора та його термічне руйнування. У результаті зростає навантаження на інші акумулятори в збірці, що призводить до прискорення розряду та зниження вихідної напруги загальної системи накопичення енергії електростанції. Це значно знижує ефективність роботи електростанції, тому що темп заряду акумуляторів генеруючим обладнанням може бути нижчим, ніж інтенсивність їх розряду. Результуюче зниження вихідної напруги системи накопичення енергії знижує ефективність перетворення енергії інвертором, через який отримує живлення споживач. Також може виникнути ситуація, коли напруга в ланці постійного струму впаде нижче допустимого рівня, і перетворення з передачею потужності в мережу взагалі припиниться [164].

## **Розділ 3 ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ ЗАКОНУ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ**

### ***3.1 Структура системи управління електротехнічним комплексом вуличного освітлення***

Центральне диспетчерське управління зовнішнім освітленням можливе при застосуванні телеуправління для встановлення ефективного зв'язку між диспетчерським пунктом, сервером, підстанцією, світильниками.

Дистанційне управління зовнішнім освітленням доріг передбачає наступні види управління світильниками (їх електроживленням і світловим потоком) [165]:

1. Програмне управління із диспетчерського пункту.
2. Радіо (телевізійне) управління.
3. Автономне управління через АПУС.

Створення системи автономного управління світильниками для зовнішнього освітлення доріг передбачає застосування досить складного обладнання, а методи формування системи управління є досить непрості й передбачають використання значних витрат.

Існуючі розробки формування управління зовнішнім освітленням доріг визначають необхідність розробки прикладної теорії розв'язання завдань, орієнтованих на ефективне їх використання ДСУЗО.

Основними принципами прикладної теорії ДСУЗО можуть бути такі:

1. Комплексний підхід до аналізу пропонованих моделей і методів управління зовнішнім освітленням на всіх його етапах.
2. Системний глибокий аналіз впливу на рівень світлового потоку світильників усіх наявних факторів (інтенсивність руху транспорту, освітлення доріг, погодні умови, забруднення атмосфери та інші).
3. Забезпечення мінімальних матеріальних і фінансових затрат при розробці системи дистанційного управління зовнішнім освітленням доріг.
4. Формування найбільш ефективної системи управління зовнішнім освітленням доріг і його програмного забезпечення.



Дотримання цих принципів повинне забезпечити застосування теоретичних методів і алгоритмів ДСУЗО та виконати моделювання такої системи управління світильниками, застосовуючи методи теорії обернених задач динаміки, варіаційного обчислення, оптимального управління, математичного програмування, теорії інтелектуального управління та інших наукових дисциплін. А систему математичних виразів, які характеризують систему управління світильниками, називають математичними моделями управління зовнішнім освітленням на різних проміжках часу.

У векторній формі математичну модель управління електротехнічним комплексом вуличного освітлення можна записати таким чином [166]:

$$\dot{X} = f(X, \Phi, u, t), \text{ якщо } t \in [t_0, t_m], \text{ а } \Phi(t_0) = \Phi_0, X(t_0) = t_0,$$

де  $[t_0, t_m]$  – інтервал часу, протягом якого здійснюється зовнішнє освітлення дороги,  $t_0$  – момент включення світильників,  $t_m$  – момент виключення світильників,  $\Phi$  – світловий потік із світильників,  $\Phi = (\Phi_1, \Phi_2 \dots \Phi_n)$  – вектор рівня світлового потоку,  $u = (u_1, u_2 \dots u_m)$  – управляючий вектор,  $f = (f_1, f_2 \dots f_n)$  – вектор-функція своїх аргументів,  $x = (x_1, x_2 \dots x_n)$  – вектор стану світильників.

Причому, на управляючий сигнал покладають такі обмеження, щоб  $u_{\min}$  відповідав  $\Phi_{\min}$ , а  $u_{\max}$  відповідав  $\Phi_{\max}$ , тобто

$$u_{\min} \leq u(t) \leq u_{\max}, t \in [t_0, t_m]$$

Аргументи, вони ж фактори, від яких залежить рівень світлового потоку  $\Phi$  від світильників:

Е – освітленість дороги;

М – світимість інших джерел світла в нічний час;

К – інтенсивність руху транспорту на дорозі;

$x = x(t)$ ,  $y = y(t)$ ,  $z = z(t)$  координати світильників у нормальній земній декартовій системі координат, із центром у точці розміщення підстанції ПС відповідного диспетчерського пункту ДП.

Тоді фазовий вектор рівня світлового потоку має такі характеристичні координати [167]:

$E(t)$ ,  $M(t)$ ,  $k(t)$ ,  $x(t)$ ,  $y(t)$ ,  $z(t)$ .

Початкові умови для даної системи диференціальних рівнянь:

$E(t_0) = E_0$ ,  $M(t_0) = M_0$ ,  $k(t_0) = k_0$ ,  $x(t_0) = x_0$ ,  $y(t_0) = y_0$ ,  $z(t_0) = z_0$ .

Тоді систему диференціальних рівнянь можна записати у такому вигляді:

$$\begin{cases} \dot{E} = f_1(E, M, k, x, y, z, u), t \in [t_0, t_m] \\ \dot{M} = f_2(E, M, k, x, y, z, u) \\ \dot{k} = f_3(E, M, k, x, y, z, u) \\ \dot{x} = E \cos M \cdot \cos k \\ \dot{y} = E \sin M \\ \dot{z} = E \cos M \cdot \sin k \end{cases},$$

Сформований вектор управління  $u(t)$  оцінюється шляхом підстановки в систему диференціальних рівнянь і моделювання рівня світлового потоку  $\Phi$  від світильників шляхом числового інтегрування при заданих початкових умовах.

Для характеристики дистанційного управління зовнішнім освітленням доріг у нічний час можна використати формальне управління зовнішнім освітленням, яке в загальному вигляді можна характеризувати векторною системою диференціальних рівнянь наступного виду:

$$\dot{x} = f(x, t, S), \quad t \in [t_0, t_m], \quad x(t_0) = x_0,$$

де  $S$  – множина управляючих команд.

$S = \{S_1(a), S_2(a), S_3(a) \dots S_m(a)\}$ , де  $S_j(a)$  – найменування  $j$ -ої управляючої команди (номер і цифровий код), де  $j = (1, \bar{m})$ ,  $a$  – вектор параметрів, який характеризує необхідний рівень світлового потоку  $\Phi$ , при заданих управляючих командах.

У кожний момент часу  $t \in [t_0, t_m]$  у правій частині диференціального рівняння  $\dot{x} = f(x, t, S)$  повинна бути лише одна управляюча команда  $S_j(a)$ ,  $j = (1, \bar{m})$ .

Для того, щоб у кожен момент часу управління зовнішнім освітленням виконувалось лише однією командою, введемо в розгляд булеву  $w_j(t)$  функцію, яка має вигляд [167]:

$$w_j(t) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } t \in [\tau_j, \tau_{jm}] \text{ при } S_j(a) \in S \\ 0, & \text{якщо } j = (1, \bar{m}) \text{ не викон } S_j(a) \end{cases}$$

Виконання у кожний момент управління світловим потоком світильника формується наступним чином:

$$\sum_{j=1}^m w_j(t) = 1, \quad t \in [t_0, t_m]$$

Тоді модель управління світловим потоком зовнішнього освітлення доріг у нічний час можна записати таким чином:

$$\dot{x} = f\left(x, t, \sum_{j=1}^m S_j(a)w_j(t)\right), \text{ де } t \in [t_0, t_m], x(t_0) = x_0$$

Вибір управляючих сигналів світильника ЕІДЖ виступає як вибір на інтервалі часу  $[t_0, t_m]$  функцій  $w_1(t), w_2(t) \dots w_m(t)$ , що задовольняють умовам управління зовнішнім освітленням.

### 3.2 Побудова системи управління електротехнічним комплексом вуличного освітлення на базі Fuzzy Logic

Знання можна формалізувати у вигляді системи нечітких логічних висловлювань. Кожне висловлювання можна оцінити нечітким ступенем істинності. Кожне таке висловлювання можна описати за допомогою відношень множин лінгвістичних нечітких змінних [168].

**Лінгвістична змінна** – це кортеж наступних значень:  $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$ , де

$\beta$  - назва змінної (наприклад, «швидкість автомобіля»);

$T$  – базова множина значень її термів – значень, кожне з яких надається за допомогою нечіткої множини (наприклад, «мала», «середня», «висока», «дуже висока»);

$X$  – множина – носій можливих конкретних значень змінної для всіх термів (наприклад,  $X = [0, 200]$  км/год.);

$G$  - деяка синтетична процедура генерації нових термів із множини  $T$  (наприклад, «дуже мала»);

$M$  – семантична процедура надання терму певної нечіткої змінної вигляду:  $\langle X, \mu_i(X) \rangle$ ,  $\mu_i(X)$  - функція належності  $i$ -го терму з множини  $T$ .

У системі **MATLAB** існує середовище для формування систем знань нечіткого висновку.

Побудова системи нечіткого виводу (СНВ), яка оснований на використанні алгоритму Мамдані, має такі етапи [169]:

1) проектування бази правил СНВ. Кожне правило представляється у вигляді:

**Якщо** <умова>, **тоді** <висновок> [міра вірності правила]

Для алгоритму Мамдані <умова> і <висновок> виглядають як логічні зв'язки наступних записів: **<нечітка змінна> = <значення >**

1. Введення цих правил у СНВ.

2. Використання СНВ для обробки вхідної інформації у вигляді конкретних значень вхідних (нечітких) змінних. Цей етап, у свою чергу, розкладається на складові:

3.1. Введення значень вхідних змінних. Тобто, деяких фактів, які вважаються істинними на 100%.

3.2. Фазифікація вхідних змінних – встановлення відповідності між конкретним значенням вхідних змінних і значенням її терму, разом із функцією належності.

3.3. Агрегування складних умов, які стоять у правилах після ключового слова ЯКЩО, тобто визначення ступеня істинності всіх умов в усіх правилах, якщо умови надаються за допомогою складних логічних виразів. Правило активується, якщо істинність його умови більша за нуль. У базах знань процедура агрегування умов у правилах виконується за допомогою нечітких логічних операцій – нечіткої кон'юнкції, нечіткої диз'юнкції, нечіткої відмови та ін.

3.4. Активація підвисновків – процес визначення ступеня істинності (належності до відповідних термів) змінних, які стоять у висновках активних правил, за формулою:  $c_k = b_k F_k$ , де  $c_k$  - ступінь істинності висновку правила  $k$ ,  $b_k$  - ступінь істинності його умови,  $F_k$  - ступінь істинності самого правила (ваговий коефіцієнт  $k$ -правила).

Після визначення вектору  $C = (c_1, \dots, c_q)$  визначаються функції належності для кожного із підвисновків для кожної вихідної лінгвістичної змінної. Припустимо, що відповідний терм вихідної лінгвістичної змінної визначається функцією належності  $\mu(y)$ . Тоді після процедури активації отримуємо поновлену функцію належності відповідного терму (підвисновок)  $\mu'(y)$  за одним із методів нечіткої композиції:

- min – активізація:  $\mu'(y) = \min\{c_i, \mu(y)\}$ ;
- prod – активізація:  $\mu'(y) = c_i \mu(y)$ ;
- average – активізація:  $\mu'(y) = 0.5(c_i + \mu(y))$ .

Відзначимо, що різні правила підвисновків можуть містити однакові терми лінгвістичних змінних. У цьому випадку для кожного терму ми визначаємо множину різних функцій належності, які обчислюються за одним із правил нечіткої композиції з кожного

правила продукції. Остаточна функція належності для цього терму визначається у наступному пункті.

3.4.1 Акумуляція висновків, тобто, визначення значення функцій належності для термів усіх вихідних змінних. Якщо для одного терму визначена множина функцій належності  $\mu_1^i(y), \dots, \mu_p^i$ , то акумуляція виконується за одним із правил об'єднання нечітких множин:

- об'єднання:  $\mu^i(y) = \max\{\mu_1^i(y), \mu_2^i\}$  ;
- алгебраїчне об'єднання:  $\mu^i(y) = \mu_1^i(y) + \mu_2^i(y) - \mu_1^i(y)\mu_2^i(y)$  ;
- граничне об'єднання:  $\mu^i(y) = \max\{\mu_1^i(y) + \mu_2^i(y) - 1, 0\}$  ;
- операція  $\lambda$  - суми:  $\mu^i(y) = \lambda\mu_1^i(y) + (1-\lambda)\mu_2^i(y)$  ,  $\lambda \in [0,1]$  .

$$\mu^i(y) = \begin{cases} \mu_1^i(y), & \text{if } \mu_2^i(y) = 0, \\ \mu_2^i(y), & \text{if } \mu_1^i(y) = 0, \\ 1, & \text{else.} \end{cases}$$

- драстичне об'єднання:

3.5. Дефазифікація вихідних змінних (визначення конкретних значень за функціями належності термів) розглядається методом центру ваги для неперервних і дискретних нечітких множин за формулами:

$$z = \frac{\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} y \mu^i(y) dy}{\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \mu^i(y) dy}$$

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \mu^i(y_i)}{\sum_{i=1}^n \mu^i(y_i)}$$

### 3.3 Проектування і використання системи нечіткого виводу для системи управління електротехнічним комплексом вуличного освітлення у населених пунктах

Формування правил нечіткої логіки для керування симісторними ключами робочих конденсаторних батарей і баластного навантаження.

Використання закону керування можна провести із застосуванням елементів нечітких множин, що дозволить покращити якість регулювання з підтримкою команд Fuzzy Logic [170].

На вхід нечіткого регулятора швидкості пропонується подавати такі сигнали: відносне значення освітленості дорожнього покриття, відносне значення напруги мережі, відносне значення відношення напруги мережі до напруги споживання, відносне значення активності руху. Вихідним сигналом каналу регуляторів системи керування є регулювання струму живлення світлодіодних освітлювальних пристроїв.

Наступним кроком створення нечіткої математичної моделі є фазифікації вхідних величин  $X$  згідно термів і отримання нечіткої множини  $\tilde{X}$ .

Для функціонування математичної моделі нечіткого логічного висновку необхідно сформувати експертну базу знань нечітких правил, що містить лінгвістичні правила залежності  $y = f(x)$ .

Блок нечіткого логічного висновку про значення напруги подачі можна представити у вигляді структури, зображеної на рис. 3.1.

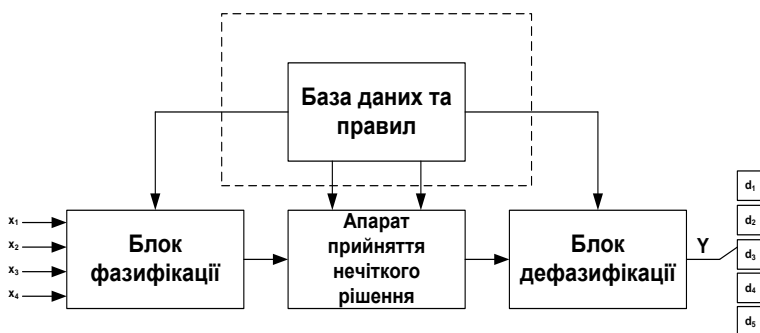


Рисунок 3.1 – Структурна схема блоку нечіткого логічного висновку

На вхід нечіткого регулятора пропонується подавати такі сигнали: відносне значення освітленості дорожнього покриття, відносне значення напруги мережі, відносне значення відношення напруги мережі до напруги споживання, відносне значення активності руху. Вихідним сигналом каналу регуляторів системи керування є регулювання струму живлення світлодіодних освітлювальних пристроїв [171].

Наступним кроком створення нечіткої математичної моделі є фазифікації вхідних величин  $X$  згідно термів і отримання нечіткої множини  $\tilde{X}$ .

Для функціонування математичної моделі нечіткого логічного висновку необхідно сформувати експертну базу знань нечітких правил, що містить лінгвістичні правила залежності:  $y = f(x)$ .

Визначимо діапазон зміни вхідних і вихідних величин і проведемо їх лінгвістичну оцінку згідно термів, що занесені до табл. 1.

Таблиця 3.1 – Характеристика вхідних і вихідних величин математичної моделі нечіткого висновку про струм подачі

<i>Пара-метри</i>	<i>Назва</i>	<i>Діапазон значень</i>	<i>Терми</i>
$X_1$	Відносне значення освітленості дорожнього покриття	$0 \dots 1 \Phi_{\text{ном}}$	Мінімальна (Min), Дуже мала (DM), Мала (M), Невисока (NV), Нормально мала (NM); Максимальна (Max), Дуже Висока (DV), Висока (V), Вище норми (VN), Нормально висока (NV)
$X_2$	Відносне значення напруги мережі	$0,9 \dots 0,95 U_n$	Мінімальна (Min), Дуже мала (DM), Мала (M), Невисока (NV), Нормально мала (NM); Максимальна (Max), Дуже Висока (DV), Висока (V), Вище норми (VN), Нормально висока (NV)

X <sub>3</sub>	Відносне значення відношення напруги мережі до напруги споживання	0...1U <sub>n</sub>	Мінімальна (Min), Дуже мала (DM), Мала (M), Невисока (NV), Нормально мала (NM); Максимальна (Max), Дуже Висока (DV), Висока (V), Вище норми (VN), Нормально висока (NV)
X <sub>4</sub>	Відносне значення активності руху	0...1N	Мінімальна (Min), Дуже мала (DM), Мала (M), Невисока (NV), Нормально мала (NM); Максимальна (Max), Дуже Висока (DV), Висока (V), Вище норми (VN), Нормально висока (NV)
Y	Значення струму подачі у частках номінального струму подачі	0...1I <sub>n</sub>	Мінімальна (Min), Дуже мала (DM), Мала (M), Невисока (NV), Нормально мала (NM); Максимальна (Max), Дуже Висока (DV), Висока (V), Вище норми (VN), Нормально висока (NV)

Наступним кроком створення нечіткої математичної моделі є фазифікація вхідних величин X згідно термів і одержання нечіткої множини  $\tilde{X}$ .

Для функціонування математичної моделі нечіткого логічного висновку необхідно сформувати експертну базу знань нечітких правил, що містить лінгвістичні правила залежності  $Y = f(X)$ . Базу знань можна представити у вигляді [172]:

$$(x_1 = \tilde{a}_{1j}\theta_j; x_2 = \tilde{a}_{1j}\theta_j \dots \theta_j x_n = \tilde{a}_{nj}) \Rightarrow Y = d_j, j = 1, m, \quad (3.1),$$

де  $\tilde{a}_{ij}$  – нечіткий терм, яким оцінюється змінна  $x_i$  в  $j$ -му правилі;

$\theta_j$  – логічна операція, що пов'язує фрагменти  $j$ -го правила;

$m$  – кількість правил у базі.

База знань ключових нечітких правил для БК представлена у вигляді таблиць 3.2.



Таблиця 3.2 – База знань нечітких правил

<i>Входи</i>				<i>Вихід</i> <i>Y</i>
<i>X</i> <sub>1</sub>	<i>X</i> <sub>2</sub>	<i>X</i> <sub>3</sub>	<i>X</i> <sub>4</sub>	
Min	Min	Min	Min	Max
Min	Min	DM	Min	
Min	DM	Min	Min	
DM	DM	Min	Min	
Min	Min	Min	DM	
Min	Min	DM	DM	
Min	DM	DM	DM	
DM	DM	DM	DM	DV
DM	DM	DM	M	
DM	DM	M	M	
DM	M	M	M	
M	DM	M	M	
M	M	M	NV	V
M	M	NV	NV	
M	NV	NV	NV	
NV	NV	NV	NV	NV
M	M	M	NV	
M	M	NV	NV	
M	NV	NV	NV	
NV	NV	NV	NM	
NV	NV	NM	NM	VN
NV	NM	NM	NM	
NM	NM	NM	NM	

Маючи виміряні вхідні величини  $X$ , використовуючи дану модель, знаходимо нечітку множину  $\tilde{Y}$ , з якої після операції дефазифікації, за методом центра ваги, отримуємо значення коригувального коефіцієнта величини вихідного струму управління.

Результати моделювання запропонованої моделі, яка побудована з використанням компонент теорії нечітких множин, представлені на рисунках 3.2 і 3.8.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС  
З ЕЛЕМЕНТАМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ  
ОСВІТЛЕННЯ ВУЛИЦЬ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

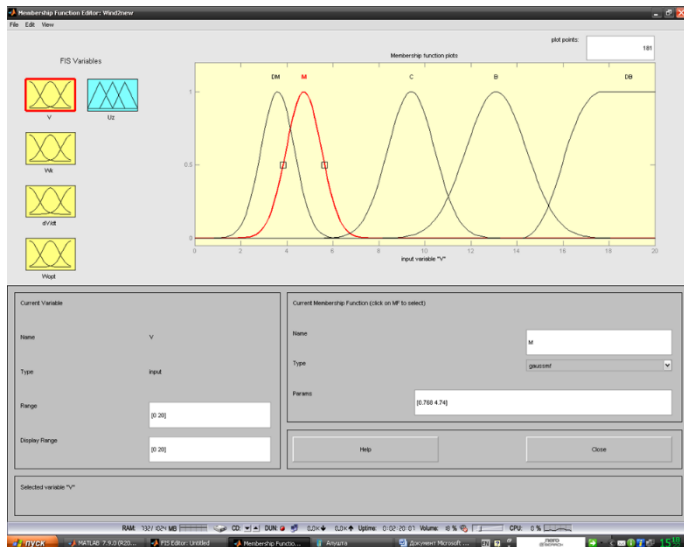


Рисунок 3.2 – Функція належності змінної  $x_1$

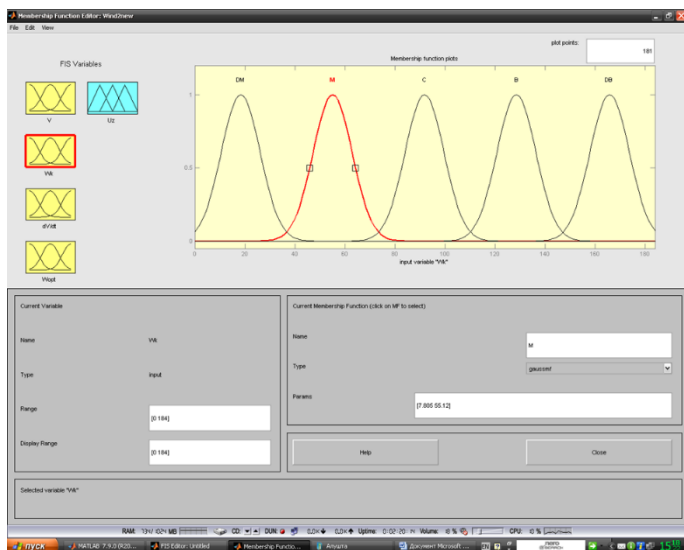


Рисунок 3.3 – Функція належності змінної  $x_2$

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС  
З ЕЛЕМЕНТАМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ  
ОСВІТЛЕННЯ ВУЛИЦЬ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

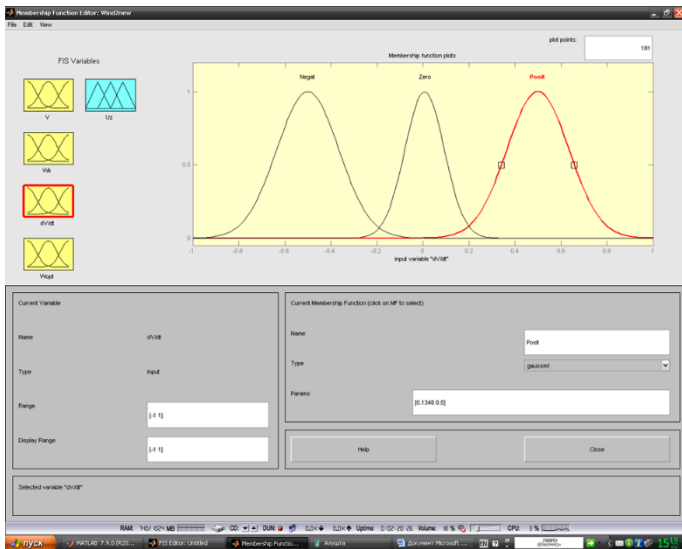


Рисунок 3.4 – Функція належності змінної  $x_3$

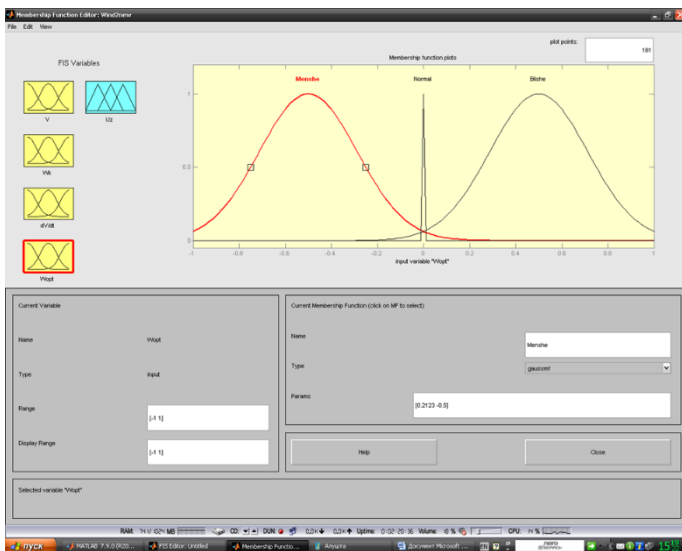


Рисунок 3.5 – Функція належності змінної  $x_4$

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС  
З ЕЛЕМЕНТАМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ  
ОСВІТЛЕННЯ ВУЛИЦЬ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ**

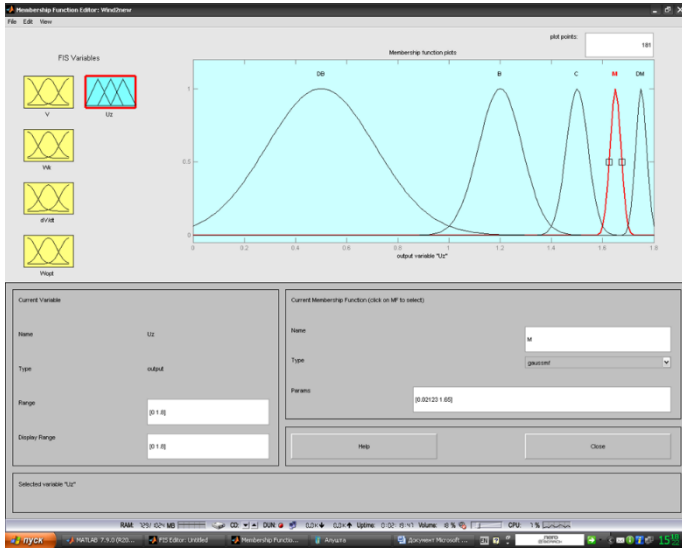


Рисунок 3.6 – Функції належності змінної  $U_z$

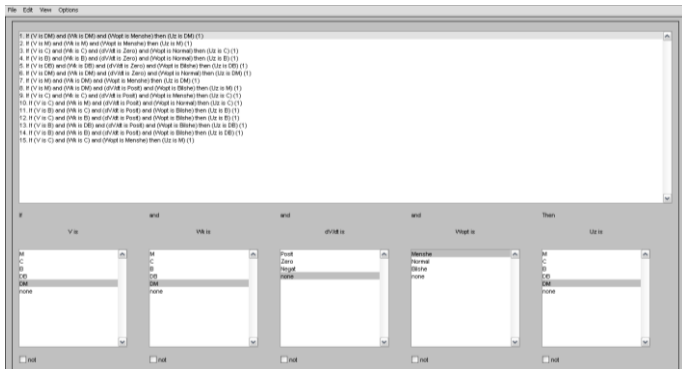


Рисунок 3.7 – База правил нечіткого логічного висновку

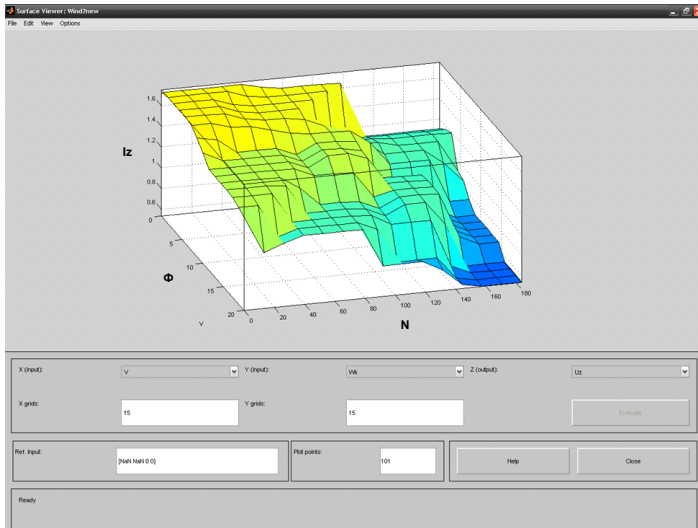


Рисунок 3.8 – Залежність струму подачі від відносних показників значення освітленості дорожнього покриття та активності руху

Аналіз отриманих результатів моделювання показав, що досліджувані параметри залежать одне від одного. Це означає, що зміна одного параметру навіть на незначну величину викликає зміни інших параметрів.

На систему нечіткого керування приходять із датчиків дві вхідні змінні: рівень освітленості та активність руху.

Вихідною змінною нечіткого регулятора є подача управляючого сигналу на систему керування рівнем струму на світлодіодних світильниках.

Згідно з алгоритмом нечіткого висновку, наступним етапом є процес фазифікації, де встановлюється відповідність між кожним конкретним значенням вхідної змінної системи нечіткого керування і відповідним до неї термом вхідної лінгвістичної змінної. Після завершення цього процесу для всіх вхідних змінних задані конкретні значення функцій належності по всім лінгвістичним термам.

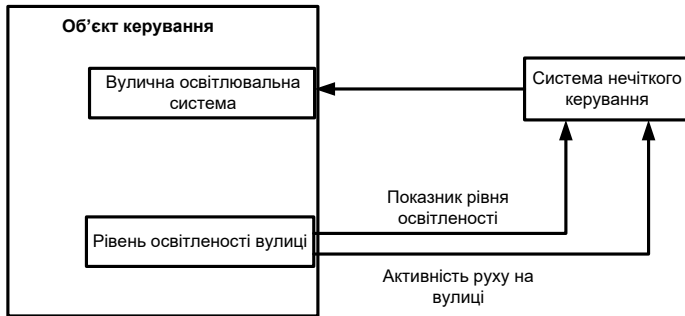


Рисунок 3.9 – Об'єкт керування

На рис. 3.10 показана імітаційна модель регулювання вуличного освітлення неселих пунктів із застосуванням запропонованої системи керування в залежності від відносних показників значення освітленості дорожнього покриття та активності руху.

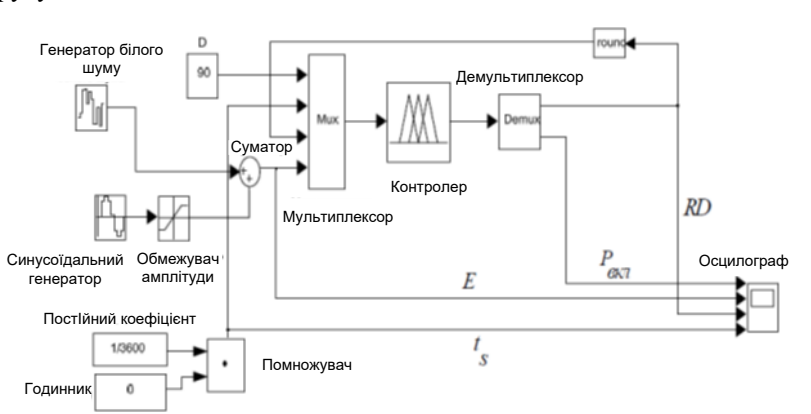


Рисунок 3.10 – Імітаційна модель регулювання вуличного освітлення неселих пунктів із застосуванням запропонованої системи керування

Як видно з рис. 3.11, при роботі системи за річним розкладом (крива 1) о 7<sup>00</sup> год. проводиться вимкнення освітлення ( $a = 0$ ), а в 19<sup>00</sup> год. увімкнення ( $a = 1$ ). На цьому ж графіку наведено зміну  $P_{вкл}$ , виконану за алгоритмом нечіткого виведення (крива 2). При збільшенні рівня природної освітленості спочатку проводиться ступінчасте зниження потужності  $P_{вкл}$  ( $a = 0,67; 0,5; 0,33$ ) і потім відключення

освітлення ( $a = 0$ ). Увімкнення відбувається у зворотному порядку з 19<sup>00</sup> до 21<sup>00</sup> год [173].

Результат моделювання показує (рис. 3.11) плавність регулювання роботи системи вуличного освітлення у порівнянні з існуючим підходом до управління освітленням у населених пунктах.

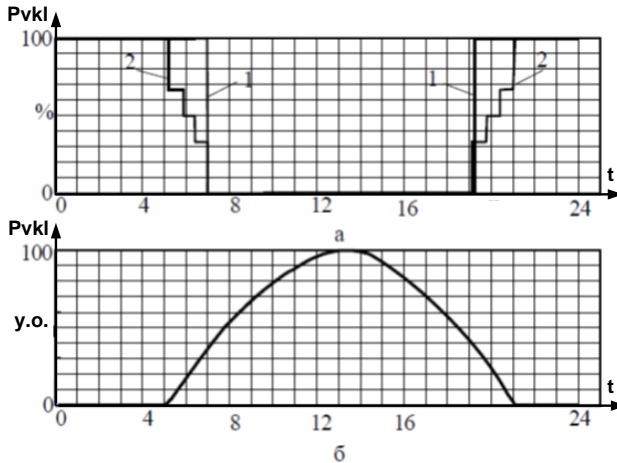


Рисунок 3.11 – Графіки регулювання вуличного освітлення населених пунктів на даний час та із застосуванням запропонованої системи керування: а) графік регулювання діючих систем вуличного освітлення, б) графік регулювання запропонованої системи управління

### ***3.4 Алгоритм роботи системи інтелектуального контролю рівня вуличного освітлення***

Система інтелектуального контролю рівня вуличного освітлення працює за попередньо визначеним алгоритмом роботи (рис. 3.12), що задається програмно після установки системи.

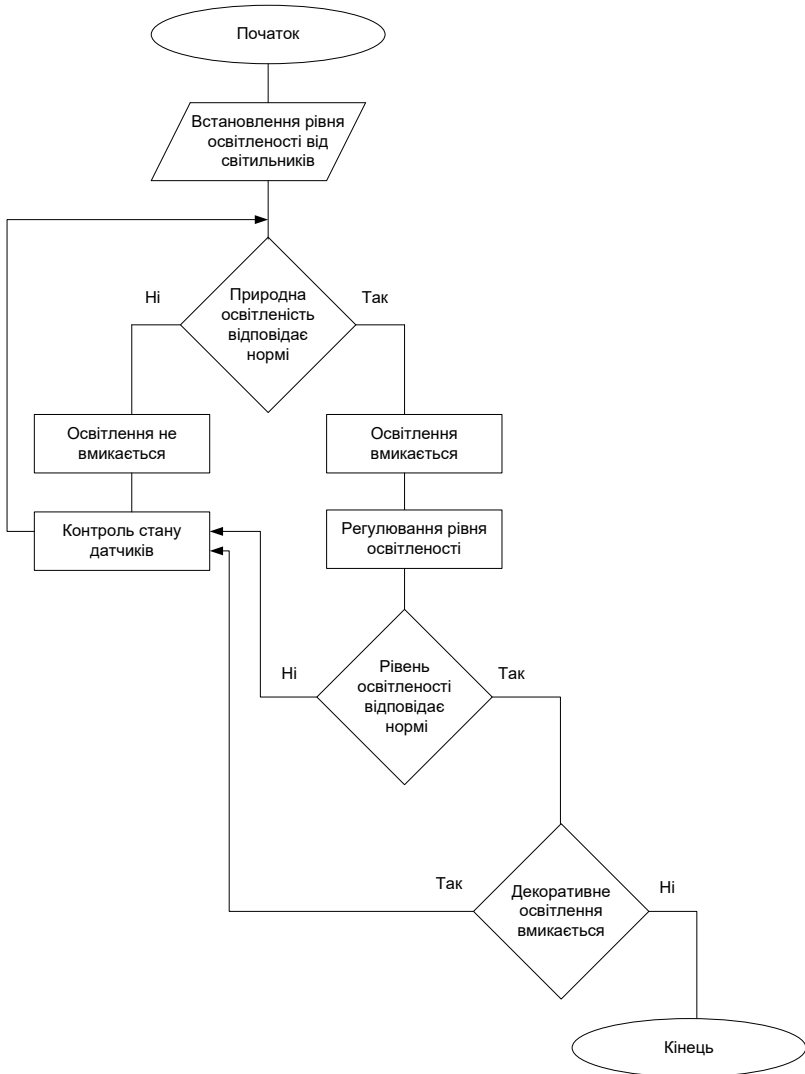


Рисунок 3.12 – Алгоритм роботи інтелектуальної системи керування вуличного освітлення

Інтелектуальна система управління вуличного освітлення є рішенням для віддаленого управління вуличного освітлення, яка має



можливість управління роботою електричними джерелами світла та рівнем споживання ними електричної енергії, відповідно до реального рівня освітленості заданої ділянки.

Також запропонована система керування гарантує освітленість заданої ділянки при різних умовах функціонування цілодобово. Не менш важливим є факт наявності зворотного зв'язку в режимі реального часу, що повідомляє про будь-які зміни, що відбуваються вздовж лінії або ділянки, знижує втрати електричної енергії. Таким чином, навіть при виході з ладу деяких світильників на лінії, система керування буде намагатися виконати завдання нормованого освітлення певної ділянки.

Інтелектуальна система управління зовнішнього освітлення працює у будь-який час, тим самим допомагає практично повністю уникнути ризику аварійних ситуацій в освітлювальній мережі через несправність системи освітлення.

Як додаткова функція цієї системи керування є можливість регулювання декоративного освітлення, що зменшує витрати на побудову додаткової системи управління [174].

## Розділ 4 ОБГРУНТУВАННЯ І РОЗРОБКА ВХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ ВТІЛЕННЯ НОВІТНІХ ЗАХОДІВ У ПРАКТИКУ

### 4.1 Приклад розрахунку ділянки діючої освітлювальної мережі

Основне завдання освітлювальних мереж полягає у виборі таких перерізів проводів і кабелів, які допускають прохід розрахункового струму освітлювального навантаження на затискачах освітлювальних установок і мають достатню механічну міцність. Важливою умовою розрахунку електричних освітлювальних мереж є забезпечення допустимого відхилення напруги на затискачах освітлювальних установок. Виконаємо розрахунок освітлювальної мережі на втрату напруги у діючій системі вуличного освітлення. Вважається, що для ламп ДРЛ виконується індивідуальна компенсація реактивної потужності і споживання її не враховується. У прикладі використовуються лампи ДРЛ потужністю 700 Вт, з урахуванням втрат потужності в ПРА, потужність однієї лампи становить:  $P_l = K_{ПРА} \cdot P'_l = 1,12 \cdot 0,7 = 0,784$  кВт [175].

Мінімальна допустима напруга освітлювальної установки:

$$U_{\min} = 97,5\% \cdot U_H, \quad U_{xx} = 105\% \cdot U_H,$$

Втрати напруги в трансформаторі визначаються як:

$$\Delta U_m = \kappa \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi) = 0,7 \cdot (1,2 \cdot 0,95 + 5,37 \cdot 0,31) = 1,963\%$$

$$U_a = \frac{100 \cdot \Delta P_{кз}}{S_{н.тп}} = \frac{100 \cdot 7,6}{630} = 1,2\%$$

$$\Delta P_{кз} = 7,6 \text{ кВт}; \quad U_k = 5,5\%$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,2^2} = 5,37\%$$

$$\Delta U_{дон} = \Delta U_x - \Delta U_m - U_{\min} = 105 - 1,963 - 97,5 = 5,537\%$$

Від КТП до освітлювального пункту ЩО-1 проходить чотирижильний кабель довжиною 20 м. Схема освітлювальної мережі для ЩО-1 наведена на рис. 4.1.

Визначимо перетин кабелю. Для цього розраховуємо моменти всіх ділянок мережі:

– для щитка ЩО-1:

$$m_{1-2} = \Sigma P \cdot l_{1-2} = 49,39 \cdot 20 = 987,8 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

$$m_{2-3} = P_{\Sigma 2-3} \cdot (l_{30} + \frac{l_{31}}{2}) = 5,488 \cdot (24 + \frac{48}{2}) = 263,4 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

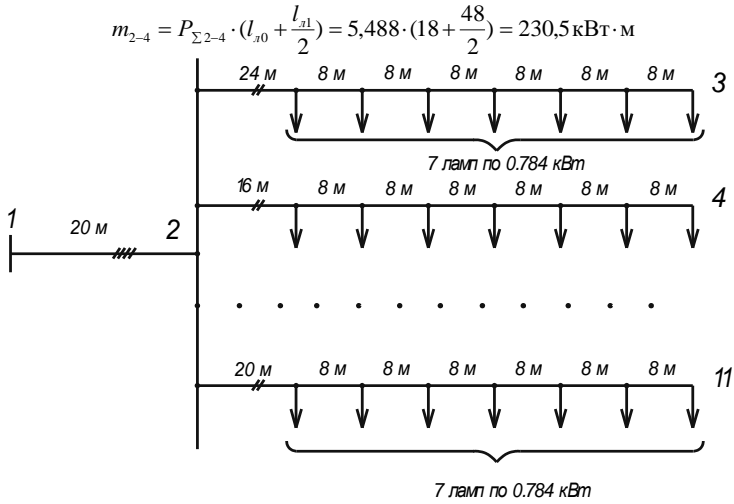


Рисунок 4.1 – Схема освітлювальної мережі для ЩО-1

$$m_{2-5} = P_{\Sigma 2-5} \cdot (l_{i0} + \frac{l_{i1}}{2}) = 5,488 \cdot (12 + \frac{48}{2}) = 197,6 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

$$m_{2-6} = P_{\Sigma 2-6} \cdot (l_{i0} + \frac{l_{i1}}{2}) = 5,488 \cdot (6 + \frac{48}{2}) = 164,6 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

$$m_{2-7} = P_{\Sigma 2-7} \cdot (l_{i0} + \frac{l_{i1}}{2}) = 5,488 \cdot (0 + \frac{48}{2}) = 131,7 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

$$m_{2-8} = P_{\Sigma 2-8} \cdot (l_{i0} + \frac{l_{i1}}{2}) = 5,488 \cdot (6 + \frac{48}{2}) = 164,6 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

$$m_{2-9} = P_{\Sigma 2-9} \cdot (l_{i0} + \frac{l_{i1}}{2}) = 5,488 \cdot (12 + \frac{48}{2}) = 197,6 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

$$m_{2-10} = P_{\Sigma 2-10} \cdot (l_{i0} + \frac{l_{i1}}{2}) = 5,488 \cdot (18 + \frac{48}{2}) = 230,5 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

$$m_{2-11} = P_{\Sigma 2-11} \cdot (l_{i0} + \frac{l_{i1}}{2}) = 5,488 \cdot (24 + \frac{48}{2}) = 263,4 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Тоді переріз кабелю до ЩО-1:

$$S'_{1-2} = \frac{\sum^n M + \alpha \cdot \sum m}{C \cdot \Delta U_{\text{дон}}} = \frac{\sum^n M + \alpha \cdot (2m_{2-3} + 2m_{2-4} + 2m_{2-5} + 2m_{2-7} + m_{2-8})}{C \cdot \Delta U_{\text{дон}}} =$$

$$\frac{987,8 + 1,85 \cdot (2 \cdot 263,4 + 2 \cdot 230,5 + 2 \cdot 197,6 + 2 \cdot 164,6 + 131,7)}{44 \cdot 5,537} = 18,05 \text{ мм}^2$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт приведення моментів;  $\sum m$  – сума моментів ліній, що живляться через дану ділянку;  $C$  – коефіцієнт, який визначається за таблицею 4.1, в залежності від системи, напруги мережі і матеріалу проводів.

Приймаємо  $S = 25 \text{ мм}^2$ .

Дійсна втрата напруги живлення складе:

$$\Delta U_{1-2} = \frac{M_{1-2}}{C \cdot S_{12}} = \frac{987,8}{44 \cdot 25} = 0,898\%$$

$$\Delta U_{2-3} = \Delta U_{2-4} = \Delta U_{2-5} = \Delta U_{2-6} = \Delta U_{2-7} = \Delta U_{2-8} = \Delta U_{2-9} = \Delta U_{2-10} =$$

$$= \Delta U_{2-11} = \Delta U_{\text{дон}} - \Delta U_{1-2} = 5,537 - 0,898 = 4,639\%$$

Перерізи кабелів:

$$S_{2-3} = \frac{m_{2-3}}{C \cdot \Delta U_{2-3}} = \frac{263,4}{7,4 \cdot 4,639} = 7,673 \text{ мм}^2$$

Інші перерізи кабелів визначаються аналогічно:

- для щитка ЩО-2

$$M_{1-2} = \Sigma P \cdot l_{12} = 35,28 \cdot 116 = 4092,48 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

$$m_{2-3} = P_{\Sigma 23} \cdot (l_{20} + \frac{l_{21}}{2}) = 3,92 \cdot (24 + \frac{32}{2}) = 156,8 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Далі розрахунки виконуються аналогічно і зведені в таблицю

4.3.

Визначаємо переріз кабелю до ЩО-2:

$$S''_{1-2} = \frac{\sum^n M + \alpha \cdot \sum m}{C \cdot \Delta U_{\text{дон}}} = \frac{\sum^n M + \alpha \cdot (2m_{2-3} + 2m_{2-4} + 2m_{2-5} + 2m_{2-7} + m_{2-8})}{C \cdot \Delta U_{\text{дон}}} =$$

$$\frac{4092,48 + 1,85 \cdot (2 \cdot 156,8 + 2 \cdot 133,3 + 2 \cdot 109,8 + 2 \cdot 86,2 + 62,7)}{44 \cdot 5,537} = 24,65 \text{ мм}^2$$

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС  
З ЕЛЕМЕНТАМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ  
ОСВІТЛЕННЯ ВУЛИЦЬ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ

Таблиця 4.1 – Розрахунок параметрів освітлювальної мережі

Номер ділянки мережі	Момент, кВт·м	Розрахунковий переріз, мм <sup>2</sup>	Стандартний переріз, мм <sup>2</sup>	Втрата напруги, %
1	2	3	4	5
ЩО - 1				
1-2	987,8	18,05	25	0,898
2-3	263,4	7,673	10	3,559
2-4	230,5	6,715	10	3,115
2-5	197,6	5,756	6	4,45
2-6	164,6	4,795	6	3,707
2-7	131,7	3,836	4	4,449
2-8	164,6	4,795	6	3,707
2-9	197,6	5,756	6	4,45
2-10	230,5	6,715	10	3,115
2-11	263,4	7,673	10	3,559
ЩО - 2				
1-2	4092,48	24,65	25	3,72
2-3	156,8	11,66	16	1,324
2-4	133,3	9,914	10	1,801
2-5	109,8	8,166	10	1,484
2-6	86,2	6,411	10	1,165
2-7	62,7	4,66	6	1,412
2-8	86,2	6,411	10	1,165
2-9	109,8	8,166	10	1,484
2-10	133,3	9,914	10	1,801
2-11	156,8	11,66	16	1,324

Визначаємо дійсні втрати напруги:  $\Delta U_{1-2} = \frac{M_{1-2}}{C \cdot S_{12}} = \frac{4092,48}{44 \cdot 25} = 3,72\%$

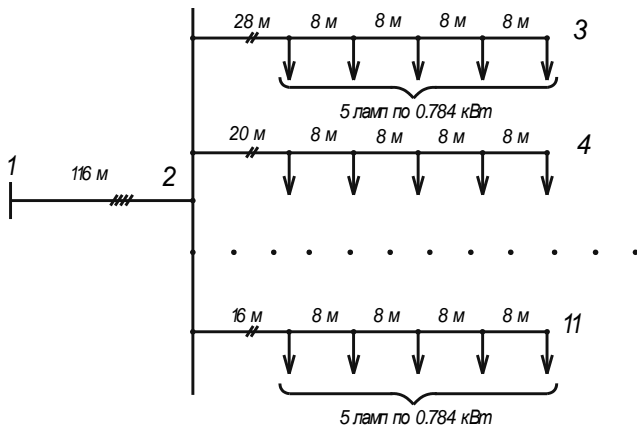


Рисунок 4.2 – Схема освітлювальної мережі для ЩО-2

$$\Delta U_{2-3} = \Delta U_{2-4} = \Delta U_{2-5} = \Delta U_{2-6} = \Delta U_{2-7} = \Delta U_{2-8} = \Delta U_{2-9} = \Delta U_{2-10} = \Delta U_{2-11} = \Delta U_{\text{авт}} - \Delta U_{1-2} = 5,537 - 3,720 = 1,817\%$$

Перерізи кабелів живлення:

$$S_{2-3} = \frac{m_{2-3}}{C \cdot \Delta U_{2-3}} = \frac{156,8}{7,4 \cdot 1,817} = 11,66 \text{ мм}^2$$

#### 4.2 Обґрунтування використання у системах вуличного освітлення населених пунктів світлодіодних освітлювальних установок

У загальному випадку, при рішенні питання про вибір джерела світла для вуличного освітлення населених пунктів необхідно аналізувати переваги і недоліки джерел світла і вже потім робити висновки про необхідність і доцільність застосування тих чи інших ламп з урахуванням рекомендацій СНіП. У таблиці 4.2 наводяться основні характеристики джерел світла.

Таблиця 4.2 – Основні характеристики штучних джерел світла

Тип джерела світла	Досягнута світлова віддача, лм/Вт	Термін дії, год.	Індекс кольоро-передачі, $R_a$
Лампи розжарювання	7-18	800-1000	100
Галогенні лампи розжарювання	13-30	3000	100

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС  
З ЕЛЕМЕНТАМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ  
ОСВІТЛЕННЯ ВУЛИЦЬ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТИВ

Люмінесцентні лампи	50-80	10000-12000	60-85
Компактні люмінесцентні лампи	40-80	6000-12000	85
Ртутні високого тиску	40-55	12000-20000	40-60
Натрієві лампи високого тиску	80-150	10000-15000	23-80
Натрієві лампи низького тиску	100-200	10000-15000	23-80
Ксенонові лампи	120-150	2000	70-95
Металогалогенові лампи	70-90	8000-10000	70-95
Індукційні ртутні низького тиску	200	60000	-
Світлодіодні лампи	75-120	100000	75-85

Вимоги до світлодіодних світлотехнічних пристроїв та електричних ламп, що використовуються у мережах змінного струму з метою освітлення, затверджені постановою Кабінету Міністрів України від 15 жовтня 2012 року № 992, ДБН 360-92 Містобудування. Планування та забудова міських і сільських поселень, ДБН В.2.3-5-2001 Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів, ДСТУ EN 60598-2-3:2014 Світильники. Частина 2-3. Додаткові вимоги. Світильники для освітлення вулиць і доріг (EN 60598-2-3:2003; A1:2011, IDT) [176].

Між тим, освітлювальні установки зовнішнього освітлення повинні забезпечити нормативне освітлення дорожнього полотна для руху транспорту, тротуарів і пішохідних зон для пересування пішоходів у вечірній і нічний час.

При проєктуванні зовнішнього освітлення архітектурно-декоративної підсвітки рекомендується застосування освітлювальних приладів на світлодіодних лампах.

При застосуванні світлодіодних ламп для зовнішнього освітлення мінімально допустимі значення світлової ефективності світлодіодних світлотехнічних пристроїв, мінімально допустимі значення коефіцієнта потужності для освітлювальних пристроїв для зовнішнього освітлення, мінімально допустимі значення коефіцієнта корисної дії допоміжних електронних пристроїв для світлодіодних світлотехнічних пристроїв, падіння світлового потоку світлодіодних світлотехнічних пристроїв і ламп під час дотримання умов експлуатації, зазначених у супровідних документах, мінімально допустимі значення індексу кольоропередачі світлодіодних світлотехнічних пристроїв і ламп, значення корельовано колірної температури для світлодіодних світлотехнічних пристроїв і ламп можуть відповідати Вимогам до світлодіодних світлотехнічних пристроїв та електричних ламп, що використовуються в мережах змінного струму з метою освітлення.

### 4.3 Тактика визначення енергоефективного технологічного обладнання схем вуличного освітлювального комплексу

На рис. 4.3 зображена структурна схема освітлювальної системи, що складається з контролера, акумуляторної батареї, фотоелектричного модуля, датчика руху та світлодіодних прожекторів.

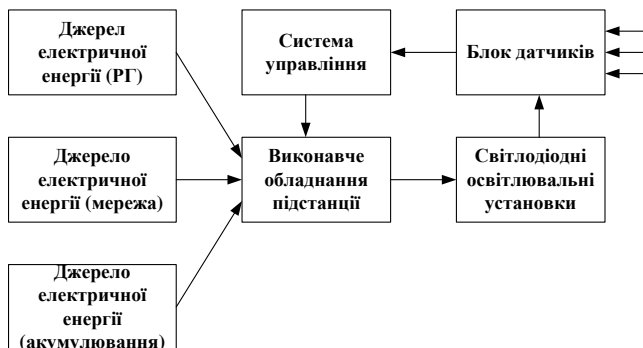


Рисунок 4.3 – Структурна схема освітлювальної системи

Структура енергетичної системи освітлювальної системи з джерелами розосередженої генерації виглядає наступним чином: первинний перетворювач енергії сонця в електричну енергію постійного струму – перетворювач електричної енергії постійного струму в електричну енергію змінного струму, або перетворювач енергії вітру в електричну енергію.

Вибрана освітлювальна система, на базі сонячної енергетичної установки, складається з первинного перетворювача енергії сонця в електричну енергію постійного струму та регулюючого пристрою (контролера) [177].

Така система вуличного освітлення може працювати повністю автономно. Перевагою цих систем є можливість встановлення на будь-якому рельєфі, де навіть неможливо провести кабель чи повітряну лінію живлення.

Для розрахунку елементів системи приймаємо ємність акумуляторної батареї  $c_a=60$  А·годин, розрахованої на робочу напругу 12 В, якщо щоденно від акумуляторної батареї протягом  $\tau=8$  годин споживається струм силою  $I=2$ А, при умові, що напруга одного



кремнієвого сонячного елемента при максимальному навантаженні  $U=0,442$  В, а густина струму на ньому  $j=2 \cdot 10^2$  А/см<sup>2</sup>.

Напруга сонячної панелі, яка необхідна для зарядки акумуляторної батареї до рівня напруги 12 В визначиться:

$$U = 1,25 \cdot U_{ок},$$
$$U = 1,25 \cdot 12 = 15 \text{ В.}$$

Кількість кремнієвих сонячних елементів необхідно з'єднати послідовно, щоб напруга сонячної панелі була не меншою 15 В:

$$n_{ел} = \frac{U_c}{U_{ок}},$$
$$n_{ел} = \frac{15}{0,442} \approx 33,94 \approx 34 \text{ елемента.}$$

Щоденні витрати електричної енергії від акумулятора споживачами:

$$C_{ак} = I \cdot \tau, \quad C_{ак} = 2 \cdot 8 = 16 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

Величина енергії, яку треба використовувати щоденно від сонячної панелі:

$$C_c = C_{ак} \cdot \frac{U_c}{U_{ак}},$$
$$C_c = 16 \cdot \frac{12}{15} = 20,0 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

Так як кремнієві сонячні елементи щоденно освітлюються сонячними променями протягом 5 годин, то необхідний струм для зарядки акумуляторної батареї обчислимо за формулою:

$$I_3 = \frac{C_c}{\tau_c}, \quad I_3 = \frac{20}{5} = 4 \text{ А.}$$

Площа сонячної панелі, з якої можна одержати зарядний струм  $I_3$  при послідовному з'єднанні елементів між собою:

$$S_{п} = \frac{I_3}{j},$$
$$S_{п} = \frac{4}{2 \cdot 10^{-2}} = 200 \text{ см}^2 = 2 \cdot 10^2 \text{ см}^2.$$

Величина площі одного кремнієвого елемента:

$$S_{ел} = \frac{S_{п}}{n_{ел}},$$
$$S_{ел} = \frac{200}{34} \approx 5,88 \text{ см}^2 \approx 5,9 \text{ см}^2.$$

Радіус одного кремнієвого елемента визначається за формулами:

$$R_{\text{ел}} = \sqrt{\frac{S_{\text{ел}}}{\pi}},$$
$$R_{\text{ел}} = \sqrt{\frac{5,9}{\pi}} \approx 1,4 \text{ см.}$$

Розмір сонячної панелі при послідовному з'єднанні елементів в два ряди по 17 штук буде рівний:

а) довжині панелі  $a = 17 \cdot 2 \cdot 1,4 \approx 46,5 \text{ м}$ ,

б) ширині панелі  $\hat{a} = 4 \cdot 1,4 \approx 5,5 \text{ м}$ .

Послідовне з'єднання 34-х кремнієвих сонячних елементів радіусом 1,4 см забезпечить зарядження акумуляторної батареї протягом 5 годин освітлення сонцем панелі щоденно.

Проведений аналіз *NiCd*, *NiMh*, *Pb*, *Li*-х електрохімічних систем показує, що для сонячної енергетичної установки оптимальним є варіант використання *Li*-іонних акумуляторних батарей [178].

Таким чином, акумуляторну батарею потрібно вибрати на 60 А·годин, запобіжники на 10 А, світлодіодний модуль 60 Вт.

Установка світлодіодних прожекторів дозволить освітлювати проїзну частину автодоріг на розтяжках між двома опорами освітлення. Установка датчиків руху дозволить вмикати світильник тільки в разі присутності людини та транспортного засобу, що призведе до зменшення потужності встановленого фотоелектричного модуля та ємності АКБ.

#### ***4.4 Превентивне економічне обґрунтування розробки та впровадження системи електротехнічного комплексу вуличного освітлення населених пунктів***

Однією із нагальних проблем вітчизняної гірничо-металургійної промисловості, головного джерела наповнення ВВП України, є тенденція збільшення тарифів за споживану електричну енергію і стрімке, у зв'язку із цим, зростання цін на рівень собівартості продукції. Тому все актуальнішим стає збільшення силами самих гірничорудних підприємств обсягів отримання енергії за рахунок використання поновлювальних джерел. Розробка і реалізація на практиці роботи на вітчизняних шахтах і кар'єрах НВДЕ дозволить здійснювати автономне живлення від них ряду приймачів електричної енергії, особливо освітлення, що дозволить зменшити собівартість видобутку корисних копалин відкритим способом (руди, вугілля, граніту).

Ефект – це результат від будь-якого заходу, який найчастіше виражається грошовою сумою у вигляді чистого доходу або прибутку. При позитивному значенні він відображає економію витрат, а при негативному – збитки інвестора.

Упровадження інвестицій може принести принаймі чотири види ефекту: економічний; науково-технічний; соціальний; екологічний.

Економічний ефект може бути потенційним або фактичним (реальним, комерційним), а науково-технічний, соціальний і екологічний ефекти – тільки потенційним економічним ефектом.

Економічний ефект визначається як різниця між вартісною оцінкою результатів і вартісною оцінкою сукупних витрат ресурсів на всіх етапах реалізації і за весь період інвестування або здійснення заходів. Складові економічного ефекту: прибуток від виробничо-експлуатаційної діяльності, зниження собівартості за рахунок економії матеріально-технічних ресурсів, приріст обсягу продажів, підвищення рівня використання виробничих потужностей, скорочення строків будівництва, зростання строку служби основних фондів, підвищення фондівіддачі, зростання продуктивності праці, прискорення обороту оборотних засобів, прибуток від ліцензій і від упровадження патентів і ноу-хау та ін.

За характером врахованих результатів і витрат розрізняють показники економічної, фінансової, ресурсної, соціальної та екологічної ефективності інвестицій [179].

Показники економічної ефективності враховують у вартісному вимірі усі види результатів і витрат, обумовлених реалізацією інвестиційного проєкту. Враховані результати і витрати при визначенні показників економічної ефективності виходять за рамки безпосередніх фінансових інтересів підприємств. Розрахунок показників фінансової ефективності базується тільки на фінансових показниках вкладення інвестицій. Показники ресурсної ефективності відбивають вплив виду ресурсу. Показники соціальної ефективності враховують соціальні результати реалізації проєкту, показники екологічної ефективності – вплив проєкту на навколишнє середовище (повітря, воду, землю, флору і фауну).

Залежно від тривалості періоду урахування результатів і витрат розрізняють показники ефективності, що розраховуються за розрахунковий період (наприклад, річної ефективності). Тривалість періоду, що береться для визначення показників ефективності, залежить від численних чинників: тривалості інвестиційного періоду, терміну

служби об'єкта і технологічного устаткування, ступеня достовірності вихідної інформації, вимог інвесторів.

Показники ефективності інвестиційних проєктів поділяються також залежно від мети їх використання на показники загальної (абсолютної) і порівняльної (відносної) ефективності. Показники загальної ефективності дозволяють оцінити економічну доцільність інвестиційних вкладень, показники порівняльної ефективності допомагають зробити порівняння різноманітних варіантів інвестиційних проєктів і вибрати найбільш економічно раціональний. Показники загальної економічної ефективності визначають з урахуванням повного обсягу інвестиційних витрат. Показники порівняльної економічної ефективності доцільно розраховувати з урахуванням тільки тих витрат, що змінюються за варіантами частин видатків і витрат, що забезпечує зниження трудових витрат при виборі інвестиційних рішень.

Для визначення економічної доцільності розробки та впровадження системи освітлення необхідно розрахувати кошторисну вартість системи.

Основою визначення кошторисної вартості системи вуличного освітлення є розробка специфікації на необхідне обладнання системи і вартість кожного елемента схеми. Розрахунки надані в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Кошторисна вартість освітлювальної системи кар'єру

<i>№ n/n</i>	<i>Найменування і технічна характеристика обладнання</i>	<i>Од. вимірю- вання</i>	<i>Кіль- кість</i>	<i>Ціна одиниці, у.о.</i>	<i>Всього, у.о.</i>
1	Сонячна батарея	шт.	1	74,75	74,75
2	Контролер	шт.	1	32	32
3	Акумулятор	шт.	1	220	220
4	Монтажний провід	м	3	0,54	1,62
5	Болт	шт.	4	1	4
6	Гайка	шт.	4	1	4
7	Світильник	шт.	1	392	392
8	Кронштейн для кріплення	шт.	1	13	13
	Всього				741,37

Розраховуючи вартість комплектуючих, їх вартість береться в умовних одиницях, що у перерахунку на гривні (з урахуванням поточного курсу валют) складає близько 29654,8 грн.

Додатково розраховуємо вартість доставки комплектуючих, що складає близько 5% від вартості, та становить 1482,74 грн., а також вартість витрат на монтаж установки, що складає 15% або 4448,22.

Таким чином, кошторисна вартість освітлювальної системи становить 35585,76 грн.

Кошторис річних експлуатаційних витрат з утримання освітлювальної системи населених пунктів розраховується за такими статтями:

- основна та додаткова заробітна плата експлуатаційних робітників з нарахуваннями;
- вартість експлуатаційних матеріалів;
- амортизаційні відрахування;
- витрати на поточний ремонт;
- інші витрати.

Річний фонд заробітної плати включає в себе заробітну плату (плата за тарифом за відпрацьований час або за виконану роботу) та додаткову заробітну плату, до якої відносяться премії і види інших грошових виплат.

Річний фонд заробітної плати визначається трудомісткістю експлуатаційних і ремонтних робіт. Для експлуатаційного персоналу визначається таким чином:

$$\Phi_p = Q_{m.o.} T_{сер} k_o, \quad (4.1)$$

де  $Q_{m.o.}$  – річна трудомісткість технічного обслуговування (510,66 люд./год.);  $T_{сер}$  – середня годинна тарифна ставка робітників (24 грн./год.);  $k_o$  – коефіцієнт, який урахує премії та інші види грошових виплат (1,25–1,35).

$$\Phi_p = 510,66 \cdot 16 \cdot 1,3 = 10621,728 \text{ грн.}$$

Вартість експлуатаційних матеріалів можна визначити залежно від заробітної плати працівників, із достатнім ступенем точності можна прийняти 10–16% від основної заробітної плати:

$$Z_{екс.мат} = 0,15 \cdot 510,66 \cdot 16 = 1225,584 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування визначають, використовуючи суму капіталовкладень в елементи системи освітлення і річних норм амортизації ( $a_p$ ) за формулою:

$$A = \frac{\Phi_p \cdot a_p}{100} \quad (4.2)$$

Розрахунки подаються у таблиці 4.3.

Витрати на поточний ремонт включають у себе вартість ремонтних матеріалів і запасних частин, приймаємо у розмірі 20% від основної заробітної плати:

$$Z_{\text{рем. мат}} = 0,2 \cdot 510,66 \cdot 16 = 1634,11 \text{ грн.}$$

Інші витрати на утримання системи можуть бути прийняті в розмірі 1% від основної заробітної плати працівників:

$$I_n = 0,01 \cdot 510,66 \cdot 16 = 81,71 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.4 – Розрахунок річних амортизаційних відрахувань

№ п/п	Елемент схеми електропостачання	Вартість всього, у.о.	Норма амортизації, ап, %	Річні амортизаційні відрахування, у.о.
1	Сонячна батарея	74,75	6	4,49
2	Контролер	32	15	4,8
3	Акумулятор	220	20	44
4	Монтажний провід	1,62	2	0,03
5	Болт	4	2	0,08
6	Гайка	4	2	0,08
7	Світильник	392	10	3,92
8	Кронштейн для кріплення	13	10	1,3
	Всього			58,7

З урахуванням поточного курсу валют сума амортизаційних витрат становить 2348 грн.

Кошторис річних експлуатаційних витрат подається у вигляді таблиці 4.4.

Таблиця 4.5 – Кошторис річних експлуатаційних витрат

Стаття витрат	Витрати, грн.
Заробітна плата	10621,73
Вартість експлуатаційних матеріалів	1225,58
Поточні ремонти	1634,11
Амортизаційні відрахування	2348
Інші витрати	81,71
Всього	15911,13

Таким чином, кошторисна вартість системи освітлення становить 29654,8 грн. Річні експлуатаційні витрати становлять 15911,13 грн. (в цінах 2021 року).

Основним показником економічної доцільності використання установки є річний економічний ефект – величина, яка включає в себе прибуток, отриманий від використання, за винятком витрат на капітальний ремонт і річну амортизацію. Економічний ефект від використання освітлювальної установки обчислюється за формулою [180]:

$$E = \Delta E - (E_a + E_p)K \quad (4.3),$$

де  $\Delta E$  – річний прибуток від використання вітроустановки, грн.;  $E_a$  – річні амортизаційні витрати, %;  $E_p$  – річні витрати на ремонт, %;  $K$  – початкові одноразові капіталовкладення, грн.

Кількість коштів, які підприємство буде економити від використання сонячної установки за годину, визначається за формулою:

$$\Pi_{год} = N_{всy}m \quad (4.4),$$

де  $N_{всy}$  – потужність, яку виробляє сонячної установка з вертикальною віссю обертання, кВт;  $m$  – тариф на 1 кВт потужності, що для підприємств становить 81 коп./кВт/год.

Річна кількість коштів, зекономлених від роботи сонячної установки обчислюється за формулою:

$$\Delta E = \Pi_{год} T_{роб} \quad (4.5),$$

де  $T_{роб}$  – кількість годин роботи сонячної установки за рік.

Кількість годин роботи сонячної установки за рік визначається за формулою:

$$T_{роб} = 8760K_n \quad (4.6),$$

де  $K_n$  – коефіцієнт попиту на роботу сонячної установки, %.

Термін окупності сонячної установки визначиться як:

$$T_{ок} = \frac{K}{E} \quad (5.5)$$

Кількість коштів, які комунальне підприємство буде економити від використання сонячної установки за годину:

$$\Pi_{год} = 0,5 \cdot 1,68 = 0,84 \text{ грн.}$$

Кількість годин роботи сонячної установки за рік:

$$T_{роб} = 1200 \cdot 0,7 = 840 \text{ год.}$$

Річна кількість коштів, зекономлених від роботи сонячної установки:

$$\Delta E = 0,84 \cdot 840 = 705,6 \text{ грн.}$$

Економічний ефект від використання сонячної установки буде:

$$E = 705,6 - (0,05 + 0,05) \cdot 6700 = 35,6 \text{ грн.}$$

Термін окупності сонячної установки:

$$T_{ок} = \frac{6700}{35,6} = 188,2 \text{ років}$$

Розрахунок для сонячної установки, що працює із системою керування та ефективною системою освітлення, визначиться в наступному форматі. У даному випадку збільшується стабільність електропостачання, а, отже, і коефіцієнт попиту зростає. Для цього розрахунку доцільним є коефіцієнт попиту, що дорівнює 0,95. Зростуть і капітальні вкладення, у зв'язку із закупівлею додаткового обладнання для системи керування, вони становитимуть 29654,8 грн.

Кількість коштів, які підприємство буде економити від використання сонячної установки за годину:

$$P_{год} = 0,5 \cdot 1,68 = 0,84 \text{ грн.}$$

Кількість годин роботи вітроустановки за рік:

$$T_{роб} = 1200 \cdot 0,95 = 1140 \text{ год.}$$

Річна кількість коштів, зекономлених від роботи сонячної установки:

$$\Delta E_{CV} = 0,84 \cdot 1140 = 957,6 \text{ грн.}$$

$$\Delta E_{CO} = 0,5 \cdot 50000 = 25000 \text{ грн.}$$

Економічний ефект від використання сонячної установки:

$$E = (957,6 + 25000) - (0,05 + 0,05) \cdot 29654,8 = 22992,12 \text{ грн}$$

Термін окупності сонячної установки:

$$T_{ок} = \frac{29654,8}{22992,12} = 1,29 \text{ років,}$$

що становить 1 рік та 4 місяці.

Для енергетики економічно ефективними є проекти, що окупаються не пізніше, ніж через 7 років. Таким чином, очікуємо, згідно вищенаведених розрахунків, терміни, які повністю відповідають вимогам щодо економічно доцільних варіантів.



### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Дадіомов М. С. Управление осветительными сетями / М. С. Дадіомов. – М.: Энергия, 1973. – 88 с.
2. Райцельский Л. А. Справочник по осветительным сетям / Л. А. Райцельский. – М.: Энергия, 1977. – 288 с.
3. Шуберт Ф. Е. Светодиоды / Ф. Е. Шуберт. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 488 с.
4. Гололобов В. Н. «Умный дом» своими руками / В. Н. Гололобов. – М.: 2006. – 414 с.
5. Давиденко Ю. Н. Современная схемотехника в освещении. Эффективное электропитание люминесцентных, галогенных ламп, светодиодов, элементов Умного дома / Ю. Н. Давиденко. – С-Пб.: Наука и Техника, 2008. – 309 с.
6. Волосов Д. С. Теория и расчет светооптических систем проекционных приборов: учеб. пособ. для института киноинженеров / Д. С. Волосов, М. В. Цивкин. – М.: Искусство, 1960. – 526 с.
7. Говоров П. П. Теорія автоматичного керування: конспект лекцій з курсу / П. П. Говоров та ін. – Харків: ХНУМГ, 2012. – 221 с.
8. Ву Т. З. Анализ систем автоматизированного управления умным домом / Т. З. Ву // Молодой ученый: науч. журнал. – Херсон: Изд. дом «Гельветика», 2011. – № 4. – Т. 1. – С. 28–31.
9. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
10. Правила улаштування електроустановок: ПУЕ. Розділ 6. Електричне освітлення: Мінерговугілля України: [Затв. 22.08.14]. – Київ: Мінерговугілля України, 2014.
11. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5 – 28 – 2006: Держбуд України: [Затв. 15.05.06: чинний з 1.10.2006.] – Київ: Держ. комітет України з будівництва та архітектури, 2006. – 76 с.
12. Справочник «Светодиодное освещение». Принципы работы, преимущества и области применения. [Электронный ресурс]. Джонатан Вейнерт. Компания Philips. – Режим доступа: [www.lighting.philips.com](http://www.lighting.philips.com).
13. Говоров П. П. Освітлювальні електричні системи та мережі / П. П. Говоров, В. О. Перепечений, В. П. Говоров // ХНАМГ – Харків, 2009. – 227 с.
14. Власов К. П. Теория автоматического управления / К. П. Власов – Харьков: Изд-во Гуманитарный центр, 2007. – 526 с.
15. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування: підручник /

- М. Г. Попович, О. В. Ковальчук – [2-ге вид., перероб. і доп.]. – Київ: Либідь, 2007. – 656 с.
16. Папушин Ю. Л. Основы автоматизации горничного производства / Ю. Л. Папушин, В. С. Білецький – Донецьк: Східний видавничий дім, 2007. – 168 с.
17. Іванов А. О. Теорія автоматичного керування: підручник / – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. – 250 с.
18. Минимизация среднеквадратических ошибок и квадратичных интегральных оценок следящих систем с помощью разомкнутых и дифференциальных связей / Г. Ф. Зайцев, В. Г. Кривуца, В. Л. Булгач, Г. Д. Радзивілов. – Київ: ГУИКТ, 2006. – 185 с.
19. Повышение показателей качества корреляционных систем / Г. Ф. Зайцев, В. Л. Булгач, Н. В. Градобоева, А. В. Сайко // Матеріали VIII наук. конф. «Сучасні тенденції розвитку технологій в комунікаціях та освіті» (Київ, 24-25 листопада 2011 р.). – Киев: ДУИКТ, 2011. – С. 226 – 231.
20. Зайцев Г. Ф. Минимизация среднеквадратических ошибок в следящих системах / Г. Ф. Зайцев, Г. Д. Радзівілов // Проблемы управления и информатики. – 2004. – № 6. – С. 62 – 72.
21. Гудвин Г. К. Проектирование систем управления / Г. К. Гудвин, С. Ф. Гребе, М. Э. Сальгадо. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 911 с.
22. Денисенко В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В. В. Денисенко. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 608 с.
23. Ротач В. Я. Теория автоматического управления: учебник / В. Я. Ротач – [5-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 396 с.
24. Светодиодное освещение улиц городов и автомагистралей. URL: <https://www.svetstk.ru/post/svetodiodnoe-osveshhenie-ulicz-gorodov-i-avtomagis>. (Дата звернення: 27.11.2020).
25. “Розумне” освітлення міст. Url: <https://5watt.ua/uk/blog/statti/rozumneosvitlennya-mist>. (Дата звернення: 27.11.2020).
26. Автоматизовані системи управління вуличним освітленням. Url: <https://controlengrussia.com/otraslevye-resheniya/zhkh/asuno/>. (Дата звернення: 27.11.2020).
27. Управление уличным освещением — принципы и устройство. <https://elektrik-a.su/osveshhenie/obshhaya-chast/upravlenie->

- ulichnymosveshheniem-384. (Дата звернення: 27.11.2020).
28. Гужов С., Полищук А., Туркин А. Сети уличного освещения с полупроводниковыми управляющими устройствами и источниками света: управление и расчет режимов. Url: <https://led-e.ru/bez-rubriki/setiulichnogo-osveshheniya-s-poluprovodnikovymi-upravlyayushhimi-ustrojstvami-iistochnikami-sveta-upravlenie-i-raschet-rezhimov/>. (Дата звернення: 27.11.2020).
29. Світлодіодне LED освітлення. Url: <http://www.ecosvit.net/ua/svitlodiodne-osvitlennya-led>. (Дата звернення: 27.11.2020).
30. Гужов С. Беспроводные технологии в системах управления уличным и тоннельным освещением. Url: <https://russianelectronics.ru/besprovodnyetehnologii-v-sistemah-upravleniya-ulichnym-i-tonnelnym-osveshheniem/>. (Дата звернення: 27.11.2020).
31. Gira 057200 Светорегулирующий сенсор для регистрации и анализа освещенности. URL: <https://knx24.com/catalog/goods/22432/offers/37021/>. (Дата звернення: 27.11.2020).
32. Светодиодный уличный светильник Vargo. Url: <https://rozetka.com.ua/167414542/p167414542> (Дата звернення: 27.11.2020).
33. Logo! Software. URL: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/logo/logo-software.html>. (Дата звернення: 27.11.2020).
34. Епанешников М.М. Электрическое освещение. – М.: Энергия, 1973. – 352 с.
35. Щепина Н.С. Основы светотехники: Учебник для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 344 с.
36. Мешков В.В. Основы светотехники: Учебное пособие для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1979. – 368 с.
37. Гугоров М.М. Основы светотехники и источники света: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 384 с.
38. Jones I., Neidchart I. The zonal method of computing coefficients of utilization and illumination of room surfaces. – “The Illuminating Engineer”, 1953. – №3.
39. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Наука, 1971. – 939 с.
40. Blackwell H.R. Psychological thresholds: experimental studies of methods of measurement. – Bull. Eng. Res. Inst., 1953. – № 36.

41. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под ред. Г.М. Кнорринга. – Л.: Энергия, 1976. – 384 с.
42. Справочная книга по светотехнике/Под ред. Ю.А. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 472 с.
43. Кнорринг Г.М. Светотехнические расчеты в установках искусственного освещения. – Л.: Энергия, 1973. – 200 с.
44. Клюев С.А. Освещение производственных помещений. – М.: Энергия, 1979. – 152 с.
45. Гусев Н.М., Киреев Н.Н. Освещение промышленных зданий. – М.: Стройиздат, 1968.
46. Кладницкий Д.А., Чубатий С.Н. Справочник по осветительной аппаратуре. – К.: Техніка, 1986. – 152 с.
47. Данилюк А.М. Расчет освещения. – М.: Стройиздат, 1941.
48. Матвеев А. Б. Зависимость уровня яркости макета от яркости объекта. – М.: „Светотехника”, 1962. – № 2.
49. Епанешников М.М., Обрасова Н.А. Исследование дискомфорта от световых потолков. – М.: «Светотехника», 1968. – № 8.
50. Шайкевич А.С. Зрительная работоспособность как критерий эффективности промышленного освещения. – Труды ЛИОТ, 1967.
51. Яковлев Е.Н. Расчет освещения от больших светящихся поверхностей. – М.: «Светотехника», 1935. – № 7.
52. Сапожников Р.А. Аналитический расчет коэффициентов использования для внутреннего освещения. – Труды II Всесоюзной светотехнической конференции, 1931.
53. Дубинкин И.С. Таблица для расчета общего освещения. – Труды светотехнической секции ЛОВЭК, 1933.
54. Слуцкий Ю.Б. Об упрощенном методе оценки эффективности фонарных и бесфонарных зданий в зависимости от требуемого уровня освещенности. – М.: «Светотехника», 1968. – № 2.
55. Світлотехнічні установки та системи. Курс лекцій / І.О. Сінчук, С.М. Бойко / Під ред. проф. Сінчука О.М. – Кривий Ріг – Кременчук, 2015. – 200 с.
56. Энергосбережение в освещении. под. ред. Ю.Б. Айзейберга. - М.: Издательство „Знак”, 1999, 264 с.
57. Кунгс Я.А., Фаерман М.А. Экономия электрической энергии в осветительных установках. М.: Энергоатомиздат. 1984 – 160 с.
58. Мешков В.В., Екапешников М.М. Осветительные установки. М.: Энергия, 1972 – 360 с.
59. Т. Говен. Энергоэффективное освещение рабочих мест /

- Светотехника, № 5, 2001. 24 – 26 с.
60. Борисов Б.П., Вагин Г.Я., Лоскутов А.Б., Шидловский А.К.. Повышение эффективности использования электрической энергии в системах электротехники. – Київ: Наукова думка, 1990. – 237 с.
  61. Михалевич А.А. Введение в энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент. – М., 2003.
  62. Бойчик І.М. Економіка підприємства: Навчальний посібник. – К.: Атіка, 2004. – 480 с.
  63. Яхьяева, Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети: учеб. пособие / Г.Э. Яхьяева. — М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний. — 2006. — 316 с.
  64. Lavric, A. A traffic prediction algorithm for street lighting control efficiency / A. Lavric, V. Popa // Journal of applied computer science & mathematics. — 2013. — no. 15(7). — pp. 13-17.
  65. Carli, R. A decision-making tool for energy efficiency optimization of street lighting / R. Carli, M. Dotoli, R. Pellegrino// Computers & Operations Research. — no. 96. — 2018. — pp. 223-235.
  66. Collantes-Duarte, J. Time Series Forecasting using ARIMA, Neural Networks and Neo Fuzzy Neurons / J. Collantes-Duarte, F. Rivas-Echeverriat // WSEAS International Conference on Neural Networks and Applications, Switzerland, 2002 [електронний ресурс]. URL: [www.wseas.us/e-library/conferences/switzerland2002/papers/464.pdf](http://www.wseas.us/e-library/conferences/switzerland2002/papers/464.pdf) (дата звернення 28.04.2016).
  67. Covitti, A. Road Lighting Installation Design to Optimize Energy Use by Genetic Algorithms. / A. Covitti, G. Delvecchio, F. Neri, A. Ripoli// Computer as a Tool, 2005. EUROCON 2005. The International Conference. — pp. 1541-1544
  68. Denardin, A. An intelligent system for street lighting control and measurement / A. Denardin, W. Gustavo et al. // Industry Applications Society Annual Meeting. — IEEE. — 2009. — pp 213-221.
  69. Diaconescu, E. The use of NARX neural networks to predict chaotic time series/ E. Diaconescu // WSEAS Transactions on Computer Research. — vol.3. — no.3. — pp. 182-191.
  70. Elejoste, P. An Easy to Deploy Street Light Control System Based on Wireless Communication and LED Technology / P. Elejoste et al. // Sensors (Basel). — 2013. — vol. 13(5): pp. 6492-6523.
  71. Geoffrion, A.M. Bicriterion Mathematical Programming/ A.M. Geoffrion // Operational Research. — 1967. — vol. 15. — pp. 39-54.
  72. Gheyas, I.A., Smith L.S. A Neural Network Approach to Time Series Forecasting / I.A. Gheyas, L.S. Smith // Proceedings of the World

- Congress on Engineering, London. — 2009. — vol 2: [электронный ресурс]. pp. 1292-1296. URL: [www.iaeng.org/publication/WCE2009/WCE2009\\_pp1292-1296.pdf](http://www.iaeng.org/publication/WCE2009/WCE2009_pp1292-1296.pdf) (дата обращения 28.04.2016).
73. Lobão, J.A. Energy efficiency of lighting installations: Software application and experimental validation / J. A. Lobão, Devezas T., Catalão J.P.S. // *Energy Reports*. — Vol.1. — 2015. — pp. 110-115.
  74. Kevin Swingler. *Applying Neural Networks: A Practical Guide*. — Morgan Kaufmann. — 1996. — p. 303.
  75. Mahoor, A.A. Hierarchical smart street lighting system with brute-force energy optimization/ A. Mahoor et al. // *IEEE Sens. J.* —2017. — vol. 17.9. pp. 2871-2879.
  76. Martyanov, A. S. Simulation model of public street lighting provided by a photovoltaic converter and battery storage / A.S. Martyanov, D.V. Korobatov, E.V. Solomin // *Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2017 International Conference on*. — IEEE, 2017. — pp. 1-5.
  77. Moreno, I. Modeling LED street lighting / I. Moreno et al. // *Applied optics*. — 2014. — vol. 20. — pp. 4420-4430.
  78. Popa, V. Energy consumption saving solutions based on intelligent street lighting control system / V. Popa et al. // *UPB Sci. Bull., Series*. — vol. 73.4. — 2011. — pp. 297-308.
  79. Sittoni, A. Street lighting in smart cities: A simulation tool for the design of systems based on narrowband PLC / A. Sittoni et al. // *Smart Cities Conference (ISC2), 2015 IEEE First International*. — IEEE, 2015. — pp. 1-6.
  80. Pizzuti, S. Advanced street lighting control through neural network ensembling / S. Pizzuti F. Moretti, M. Annunziato// *SMART 2013: The second international conference on smart systems, devices and technologies*. — Rome. — 2013. — pp. 76-81
  81. Traffic data site [электронный ресурс]. URL: <https://www.nratrafficdata.ie> (дата обращения 28.04.2016).
  82. Wojnicki, I. Street lighting control, energy consumption optimization. / I. Wojnicki, Kotulski L. // *International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing*. — Springer, Cham. — 2017. — pp. 123-127.
  83. Андриевский Б.Р. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке МАТЕАВ / Б.Р. Андриевский, А.Л. Фрадков. -СПб.: Наука, 1999. - 65 с.

84. Ануфриев И.В. Самоучитель Ма1Ьав 5.3/б.х / И.В. Ануфриев - Спб.: БХВ-Петербург, 2002. - 736 с.
85. Балагин В. В. Теоретические основы автоматизированного управления / В. В. Балагин. - Мн.: Высш. шк., 1991. - 252 с.
86. Бендат Дж. Измерение и анализ случайных процессов / Д. Бендат, А. Пирсол - М.: Издательство МИР, 1974- 464 с.
87. Гультяев А. Визуальное моделирование в среде МАТЬАВ / А. Гультяев. - СПб.: Питер, 2000. – 432 с.
88. Деменков Н.П. Нечеткий логический регулятор в задачах управления / Н.П. Деменков, И.А. Мочалов // Промышленные АСУ и контроллеры. № 2. -М.: НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ, 1999. - с. 30-35.
89. Деменков Н.П. О полезности и границах применимости нечеткого управления / Н.П. Деменков, И.А. Мочалов // Промышленные АСУ и контроллеры. № 3. - М.: НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ, 1999. - с. 21-23.
90. Денисов В.П. Технология и оборудование производства электрических источников света / В.П. Денисов, Ю.Ф. Мельников. - М.: Энергоатомиздат. 1983. - 384 с.
91. Дьяконов В. МАТЬАВ / В. Дьяконов. - СПб.: Питер, 2001. - 560 с.
92. Дьяконов В. Математические пакеты расширения МАТЬАВ. Специальный справочник / В. Дьяконов, В. Круглов. - СПб.: Питер, 2001. - 480 с.
93. Евминов Л.И. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий / Л.И. Евминов. - Мн.: НПООО "Пион", 2002. - 457 с.
94. Ермилов А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А.А. Ермилов. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 208 с.
95. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применения к принятию приближенных решений / Л.А. Заде. -М.: Мир, 1976. - 165 с.
96. Зорин В. В. Системы электроснабжения общего назначения / В. В. Зорин, В.В. Тисленко. - Чернигов: ЧГТУ, 2005. - 341 с.
97. Кетков Ю.Л. МАТЛАВ 7: программирование, численные методы / Ю.Л. Кетков, А.Ю. Кетков, М.М. Шульц. - СПб: БХВ-Петербург, 2005.-752 с.
98. Князевский Б.А. Электроснабжение промышленных предприятий / Б.А. Князевский, Б.Ю. Липкин. - М.: Высш. школа, 1986. - 400 с.
99. Козлов В.Н. Технология производства световых приборов / В.Н. Козлов. - М.: Энергоатомиздат, 1992. - 272 с.
100. Козлов В.А. Электроснабжение городов / В.А. Козлов. - М.: Энергия, 1977. - 280 с.

101. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов / Е.А. Конюхова. - М.: Академия, 2004. - 320 с.
102. Краснокуцкий И.Н. Алгоритмы и средства управления системами электроснабжения осветительных установок на основе методов нечеткой логики. / Краснокуцкий И.Н., Юша В.Л. // Омский научный вестник, серия «Приборы, машины и технологии». - № 3 (103). – 2011. - С. 218-220.
103. Краснокуцкий И.Н. Нечеткая логика в системе электроснабжения распределённых объектов наружного освещения / Краснокуцкий И.Н.// Известия высших учебных заведений. Электромеханика. - № 4. – 2010. - С. 64-68.
104. Краснокуцкий И.Н. Интеллектуальное управление электропитанием светильников наружного освещения / Краснокуцкий И.Н.// Промышленная энергетика: производственно-технический журнал. - № 3. -2010. - С. 18-20.
105. Краснокуцкий И.Н. Использование алгоритмов нечеткого вывода в автоматизированном электротехническом комплексе управления наружным освещением / Краснокуцкий И.Н. // Промышленные АСУ и контроллеры: Науч.-техн. журнал. - № 5. – 2010. - С. 1-5.
106. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий / Б.И. Кудрин. - М.: Интернет Инжиниринг, 2006. - 672 с.
107. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB / Ю. Лазарев. - Спб.: Питер; Киев: Издательская группа ВНУ, 2005. – 512 с.
108. Леоненко А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTech / А. Леоненко. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
109. Мамиконов А.Г. Проектирование АСУ / А.Г. Мамиконов М.: Высш. шк., 1987. – 303 с.
110. Мешков В.В. Основы светотехники. 4.1. / В.В. Мешков. - М.: Энергия, 1979. – 368 с.
111. Олссон Г. Цифровые системы автоматизации и управления / Г. Олссон, Д. Пиани. СПб.: Невский Диалект, 2001. – 557 с.
112. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения / Г.Н. Ополева. - М.: ИНФРА-М, 2006. – 480 с.
113. Оптенгейм А. Цифровая обработка сигналов / А. Оптенгейм, Р.Шафер. - М.: Техносфера, 2007. – 856 с.
114. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский. - М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
115. DIN EN 12464-1/2003 Light and lighting - Lighting of work places -



- Part 1: Indoor work places. 2003. – 40 с.
116. ISO 8995/CIE S 008/E2001. Lighting of indoor work places.
  117. IE SNA, Lighting Handbook, 9-th Edition. - N-J, 2010.
  118. <http://www.ivt.su>
  119. <http://www.heliocity.kz>
  120. <http://www.promavt.com>
  121. <http://www.poligon.info>
  122. N. A. Azis, E. Joelianto, and A. Widyotriatmo, in 2019 6th International Conference on Instrumentation, Control, and Automation (ICA) (2019), pp. 88–93.
  123. I. A. Azzollini, V. D. Felice, F. Fraboni, L. Cavallucci, M. Breschi, A. D. Rosa, and G. Zini, IEEE Transactions on Power Systems 33, 6422 (2018).
  124. C. H. Cai, D. Du, and Z. Y. Liu, in The 12th IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2003. FUZZ '03. (2003), pp. 1068–1073 vol.2.
  125. Y. Chen, W. Huo, M. Lin, and L. Zhao, PLOS ONE 13, e0189757 (2018).
  126. D.-W. Chung and S.-H. Yang, E3S Web Conf. 57, 02006 (2018).
  127. W.-H. Cui, J.-S. Wang, and Y.-Y. Chen, Engineering Letters 26, 504 (2018).
  128. M. Daigle and C. Kulkarni, in PHM 2013 - Proceedings of the Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society 2013 (2013).
  129. M. A. Hannan, M. S. H. Lipu, A. Hussain, P. J. Ker, T. M. I. Mahlia, M. Mansor, A. Ayob, M. H. Saad, and Z. Y. Dong, Scientific Reports 10, 4687 (2020).
  130. W. He, M. Pecht, D. Flynn, and F. Dinmohammadi, Energies 11, 2120 (2018).
  131. P. Khumprom and N. Yodo, in 2019 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS) (2019), pp. 1–6.
  132. S. S. Madani, E. Schaltz, and S. Knudsen Kær, Batteries 5, 31 (2019).
  133. S. S. Mansouri, P. Karvelis, G. Georgoulas, and G. Nikolakopoulos, IFAC-PapersOnLine 50, 4727 (2017).
  134. S. J. Moura, in 2015 54th IEEE Conference on Decision and Control (CDC) (2015), pp. 3906–3912.
  135. O. Nelles, Nonlinear System Identification: From Classical Approaches to Neural Networks and Fuzzy Models (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2001).
  136. A. Rahmoun, H. Biechl, and A. Rosin, Electrical, Control and Communication Engineering 2, 34 (2013).

137. C. Taborelli and S. Onori, in 2014 IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC) (2014), pp. 1–8.
138. A. Tanaami and M. Morimoto, in 2009 International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS) (2009), pp. 1552–1555.
139. J. Wehbe and N. Karami, in 2015 Third International Conference on Technological Advances in Electrical, Electronics and Computer Engineering (TAEECE) (2015), pp. 45–49.
140. M. Zhang, Z. Miao, and L. Fan, in 2017 North American Power Symposium (NAPS) (2017), pp. 1–6.
141. Y. Zhang, R. Xiong, H. He, and Z. Liu, in 2017 Prognostics and System Health Management Conference (PHM-Harbin) (2017), pp. 1–4.
142. B. Saha and K. Goebel (2007). "Battery Data Set", NASA Ames Prognostics Data Repository (<http://ti.arc.nasa.gov/project/prognostic-data-repository>), NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA.
143. A. Gourma, A. Berdai, M. Reddak, and V. Tytiuk, International Review of Electrical Engineering (IREE) 15, 87 (2020).
144. I. A. Uskov, V. Shchokin, O. Mykhailenko, and O. Kryvenko, E3S Web Conf. 166, 04006 (2020).
145. I. Romashykhin, N. Rudenko, and V. Kuznetsov, in 2017 International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES) (2017), pp. 128–131.
146. I. Lutsenko, O. Mykhailenko, O. Dmytriieva, O. Rudkovsky, D. Mospan, D. Kukharenko, H. Kolomits, and A. Kuzmenko, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 2, 57 (2019).
147. Forecasting of electricity consumption in SmartGrid [Електронний ресурс] / J. Yamnenko, T. Tereshchenko, L. Klepach and D. Palii //International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8248891/>
148. MicroGrid - відповідь на нові виклики електроенергетики / М. Шилер, Є. Рублевский. // Control Engineering – 2017. – С.80-83.
149. Smart home research [Електронний ресурс]/ Li Jiang, Da-You Liu, Bo Yang //Proceedings of 2004 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (IEEE Cat. No.04EX826). – 2014. – ISBN: 0-7803-8403-2. –DOI: 10.1109/ICMLC.2004.1382266. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1382266>.
150. Proposal for an intelligent lighting system, and verification of control method effectiveness [Електронний ресурс]/ М. Miki, Т. Hiroyasu, К. Imazato// IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems. –

2014. – ISBN: 0-7803-8643-4. – DOI: 10.1109/ICCSIS.2004.1460469. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1460469>.
151. Smart home or building (home automation or domotics) [Електронний ресурс]/ М. Rouse //TechTarget – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/smart-home-or-building>
152. Designing an Adaptive Lighting Control System for Smart Buildings and Homes[Електронний ресурс]/ Yuan Wang, Partha Dasgupta // Arizona State University conference – 2015. – Режим доступу до ресурсу: [https://www.researchgate.net/publication/280003515\\_Designing\\_an\\_Adaptive\\_Lighting\\_Control\\_System\\_for\\_Smart\\_Buildings\\_and\\_Homes](https://www.researchgate.net/publication/280003515_Designing_an_Adaptive_Lighting_Control_System_for_Smart_Buildings_and_Homes).
153. An intelligent light control system for power saving [Електронний ресурс] /S. Matta// IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial –2010. - P. 3316–3321. – Режим доступу до ресурсу: [https://www.researchgate.net/publication/261464920\\_An\\_intelligent\\_light\\_control\\_system\\_for\\_power\\_saving](https://www.researchgate.net/publication/261464920_An_intelligent_light_control_system_for_power_saving).
155. Adaptive lighting systems: Occupancy sensing [Електронний ресурс] //Silvair – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://silvair.com/blog/adaptive-lighting-systems-occupancy-sensing/>.
156. Bluetooth Smart based Attendance Management System [Електронний ресурс] / Riya Lodha, Suruchi Gupta, Harshil Jain, Harish Narula // International Conference on Advanced Computing Technologies and Applications (ICACTA-2015). – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://core.ac.uk/reader/81125800>.
157. Estimation of lighting energy savings from daylighting [Електронний ресурс]/ P. Ihm, A. Nemri, and M. Krarti // Building and Environment. – 2009. – Vol. 44. – №3. – P. 509 – 514. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132308000760>.
158. Maker Faire Rome 2020 [Електронний ресурс] //Make Community LLC. – 2020 – Режим доступу до ресурсу: <https://makerfaire.com/>.
159. Eben Upton, Gareth Halfacree. Raspberry Pi User Guide// John Wiley & Sons. – 2014. – 312 p.
160. Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi [Електронний ресурс] //RASPBerry PI FOUNDATION UK REGISTERED CHARITY 1129409 – 2020 – Режим доступу до ресурсу: <https://www.raspberrypi.org/>
161. Arduino Uno [Електронний ресурс] // ARDUINO – 2020 – Режим доступу до ресурсу: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno>.

162. 3 BASIC TYPES OF LIGHTING [Електронний ресурс] //Standard Products Inc. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.standardpro.com/3-basic-types-of-lighting/>
163. Природне освітлення. Природне, або денне, світло – це поєднання сонячного світла й дифузного світла небосхилу[Електронний ресурс] //Студопедия.Орг – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://studopedia.org/7-134505.html>
164. Ачкасов А. Є., Лушкін В. А., Охріменко В. М., Кузнецов А. І., Чернявська М. В., Воронкова Т. Б. Електротехніка у будівництві: навч. пос. [Текст] – Харків: ХНАМГ, 2009. – 363 с.
165. Ambient Light Sensor Integration Frangiskos [Електронний ресурс] / V. Topalis, Lambros T. Doulos //Spring International Publishing. – Switzerland. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://cutt.ly/mhSPAM9er>.
166. Власюк Н. П. Люминесцентные лампы и их электронные балласты // Радиоаматор. – 2009. – № 5.
167. Do hotel thermostats with motion sensors have you waking up in a sweat? [Електронний ресурс] / Catharine Hamm. // Los Angeles Times – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.latimes.com/travel/deals/la-tr-spot-20150215-story.html>
168. Virtual Occupancy Sensing: Using Smart Meters to Indicate Your Presence [Електронний ресурс] / Ming Jin; Ruoxi Jia; Costas J. Spanos //IEEE Transactions on Mobile Computing – 2017. – Vol.16. – №11. – Р. 3264–3277. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7882676>
169. Light Level Sensor - LM393 [Електронний ресурс] //Sensnology АВ – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mysensors.org/build/light-lm393>
170. Аршан Є.В. Вимірювач потужності ультрафіолетового випромінювання [Електронний ресурс]/ Аршан Є.В., Бондаренко Р.І., 9
171. Калачников О.О., Сіднев О.Б., Семікіна Т.В.//Мікросистеми, електроніка та акустика., 2020. – Vol.25. - №2. – С. 45-49. – Режим доступу: <http://elc.kpi.ua/article/view/199843>.
172. Аршан Є. В. Система адаптивного контролю освітлення [Електронний ресурс]/ Аршан Є. В. Бондаренко Р.І, Калачников О.О., Ямненко Ю.С. //X Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Сучасні виклики і актуальні проблеми науки, освіти та виробництва» 13 листопада 2020 р. м. Київ: матеріали конференції.

- 2020 – С. 554–563. – Режим доступу: [https://openscilab.org/wp-content/uploads/2020/11/suchasni-vikliki-i-aktualni-problemi-nauki-osviti-ta-virobnictva\\_2020\\_11\\_13\\_tezy.pdf](https://openscilab.org/wp-content/uploads/2020/11/suchasni-vikliki-i-aktualni-problemi-nauki-osviti-ta-virobnictva_2020_11_13_tezy.pdf)
173. О.М. Сінчук, В.В. Горшков Аналіз сучасного стану та перспектив розвитку систем штучного зовнішнього освітлення в Україні. Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Випуск 1/2022 (57) С. 55-60.
174. Сінчук О., Горшков В. Управління електротехнічним комплексом вуличного освітлення за допомогою нечіткого регулятора. Технічні науки та технології. 2022. № 2(28). С. 138-145.
175. Сінчук О. М., Горшков В. В. Система управління електротехнічним комплексом вуличного освітлення. Вісник Хмельницького національного університету, №4, 2022 (311) С. 232-236
176. Горшков В.В. До проектування сучасного комплексу вуличного освітлення населених пунктів. Новітні технології сучасного суспільства (НТСС-2021): II Міжнародна науково-практична конференція (м. Чернігів, 17 грудня 2021 р.): тези доповідей: у 2 ч. Ч. I. – Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2021. С. 196.
177. Горшков В. В. Особливості побудови систем керування електротехнічних систем вуличного освітлення. The 12th International scientific and practical conference “Modern scientific research: achievements, innovations and development prospects” (May 22-24, 2022) MDPC Publishing, Berlin, Germany. 2022. С. 195.
178. Сінчук О.М., Горшков В.В. Сучасний стан розвитку систем штучного зовнішнього освітлення в Україні. Сталий розвиток травень 2022р. Кривий Ріг.



**Горшков Віктор Вікторович (1991 р.н.)**

**Освіта:**

- середньо-технічна, Криворізький Гірничо-електромеханічний технікум 2006-2010 н.р.
- вища, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет» (2015 рік закінчення),  
«Електропостачання та енергетичний менеджмент», магістр електротехніки,
- аспірант кафедри «Автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті» (2020 рік закінчення).

**Досвід роботи:**

- 2015-2020 рр викладач спеціальних дисциплін Відокремленого структурного підрозділу «Гірничо-електромеханічний фаховий коледж КНУ» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
  - 2020-2022 директор Відокремленого структурного підрозділу «Гірничо-електромеханічний фаховий коледж КНУ»
  - 2023 - в.о. директора Відокремленого структурного підрозділу «Гірничо-електромеханічний фаховий коледж КНУ»
- Автор більше 10 науково-методичних праць.

**МОНОГРАФІЯ**

ГОРШКОВ ВІКТОР ВІКТОРОВИЧ

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС  
З ЕЛЕМЕНТАМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ  
ПРОЦЕСОМ ОСВІТЛЕННЯ ВУЛИЦЬ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ**

Subscribe to print 16/01/2023. Format 60×90/16.

Edition of 300 copies.

Printed by “iScience” Sp. z o. o.

Warsaw, Poland

08-444, str. Grzybowska, 87

info@sciencecentrum.pl, <https://sciencecentrum.pl>



ISBN 978-83-66216-75-4



9 788366 216754