

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: Модернізація системи освітлення вулиці Вояків Дивізії
«Галичина» у м. Тернопіль

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи ЕТ-41
спеціальності 141

Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

| | | |
|-------------------|----------|--|
| | (підпис) | Года Р.Б. (прізвище та ініціали) |
| Керівник | (підпис) | Осадца Я.М. (прізвище та ініціали) |
| Нормоконтроль | (підпис) | Мовчан Л.Т. (прізвище та ініціали) |
| Завідувач кафедри | (підпис) | Коваль В.П. (прізвище та ініціали) |
| Рецензент | (підпис) | Золотий Р.З. (прізвище та ініціали) |

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«26» січня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Годі Роману Богдановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація системи освітлення вулиці Вояків Дивізії «Галичина»
у м. Тернопіль

Керівник роботи Осадця Ярослав михайлович, к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «31» грудня 2025 року № 4/7-1162

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Характеристики систем вуличного освітлення м. Тернополя,
Державні будівельні норми, технічні характеристики світлових приладів

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

ВСТУП

АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

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

Титульний аркуш презентації – 1 арк.; Мета та завдання роботи – 1 арк.; Відомість про об'єкт проектування – 1 арк.; Діючі системи освітлення вулиці – 1 арк.; Розрахунок рівня енергоспоживання існуючою системою освітлення – 1 арк.; Нормовані світлотехнічні параметри – 1 арк.; Характеристики світлових приладів – 1 арк.; Світлотехнічний розрахунок систем освітлення вулиці 3 – 6 арк.; Розрахунок рівнів енергоспоживання модернізованими системами освітлення вулиці – 2 – 3 арк.; Розрахунок терміну окупності заходів з модернізації – 1 – 2 арк.; Загальні висновки до кваліфікаційної роботи – 1 арк.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТ – 41. - Т.: ТНТУ, 2026.

Стор. 64; рис. 27; табл. 13; креслень (сторінок презентації) – 17; використаних джерел – 15, сторінок додатків – 0.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: «Модернізація системи освітлення вулиці Вояків Дивізії «Галичина» у м. Тернопіль».

Метою роботи є розроблення технічних рішень щодо модернізації системи освітлення однієї із вулиць м. Тернополя шляхом прямої заміни світлових приладів на світлодіодні з можливістю функції диммінгу.

На підставі результатів світлотехнічного розрахунку запропоновано шляхи модернізації системи освітлення проїзних частин, тротуарів та зупинок громадського транспорту однієї з вулиць центральної частини міста Тернополя.

Ключові слова:

СВІТЛОВИЙ ПРИЛАД, ОСВІТЛЕНІСТЬ, ЯСКРАВІСТЬ, ПОРОГОВИЙ ПРИРІСТ ЯСКРАВОСТІ, ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ, ВЕРТИКАЛЬНА ОСВІТЛЕНІСТЬ.

ЗМІСТ

| | |
|---|-----------|
| ВСТУП | 6 |
| 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ | 8 |
| 1.1 Світлове оформлення міста та принципи зовнішнього освітлення | 8 |
| 1.2 Вимоги щодо проєктування систем вуличного освітлення | 9 |
| 1.3 Відомості про об'єкт проєктування | 13 |
| 1.4. Висновки до розділу | 16 |
| 2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ | 18 |
| 2.1 Обстеження систем освітлення вулиці | 18 |
| 2.1.1 Системи освітлення проїжджої частини та тротуарів | 19 |
| 2.1.2 Освітлення пішохідних переходів та зупинок громадського транспорту | 21 |
| 2.1.3 Розрахунок рівня споживання електричної енергії існуючою системою освітлення вулиці | 22 |
| 2.1.4 Заходи щодо модернізації системи освітлення вулиці | 25 |
| 2.2 Вибір нормованих світлотехнічних параметрів системи освітлення вулиці | 27 |
| 2.3 Вибір світлових приладів | 29 |
| 2.4 Застосування світильників з функцією диммінгу | 32 |
| 2.5 Висновки до розділу | 34 |
| 3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ | 35 |
| 3.1 Світлотехнічний розрахунок систем освітлення вулиці | 35 |
| 3.1.1 Вихідні дані для світлотехнічного розрахунку | 35 |
| 3.1.2 Розрахунок системи освітлення частини I вулиці | 36 |
| 3.1.3 Розрахунок системи освітлення частини II вулиці | 38 |
| 3.1.4 Розрахунок системи освітлення зупинок громадського транспорту | 39 |
| 3.2 Оцінка впровадження заходів з модернізації | 45 |
| 3.2.1 Пряма заміна світильників на світлодіодні | 45 |
| 3.2.2 Пряма заміна світильників на світлодіодні з функцією диммінгу | 46 |
| 3.2.3 Розрахунок терміну окупності заходів модернізації | 52 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3 Висновки до розділу | 54 |
| 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ | 56 |
| 4.1 Економічне та соціальне значення заходів з охорони праці та техніки безпеки | 56 |
| 4.2 Надзвичайні ситуації та аналіз основних причин їх виникнення | 57 |
| 4.1 Значення та основні задачі штучного зовнішнього освітлення | 61 |
| 4.2 Ураження людини електричним струмом: фактори | 63 |

ВСТУП

Сучасний розвиток обласних центрів України в умовах глобальних викликів вимагає радикальної перебудови підходів до управління муніципальною інфраструктурою. Особливе місце серед критично важливих систем життєзабезпечення міста Тернополя посідає зовнішнє (вуличне) освітлення. Воно не лише забезпечує базовий комфорт мешканців та оптимізує криміногенну обстановку, але й безпосередньо впливає на безпеку дорожнього руху на ключових транспортних магістралях міста.

На сьогоднішній день мережа зовнішнього освітлення м. Тернополя, яка перебуває на балансі та обслуговуванні спеціалізованого комунального підприємства КП «Тернопільміськвітло», потребує масштабного оновлення. Попри часткове впровадження світлодіодних технологій у попередні роки, значна частина міських вулиць, особливо у приватному секторі та на околицях, досі освітлюється застарілими та енергомісткими натрієвими лампами типу ДНаТ (зокрема, потужністю 150 Вт та більше). Експлуатація таких джерел світла супроводжується значними втратами енергії, коротким терміном служби ламп та високими експлуатаційними витратами на їх постійну заміну.

В умовах гострого дефіциту генеруючих потужностей в енергосистемі України, питання енергозбереження перейшло у розряд стратегічних завдань національної безпеки. Для Тернополя ця проблема загострюється суто економічним фактором. Як побутовий споживач (за 2-м класом напруги), місто купує електроенергію для освітлення вулиць за комерційними тарифами в АТ «Тернопільобленерго». З урахуванням ринкової вартості басейну електроенергії, тарифів на передачу та розподіл, кінцева ціна у 2026 році нерідко перевищує 14–16 гривень за кВт·год. Це створює колосальний тиск на бюджет Тернопільської міської територіальної громади.

Просте відключення ліній у нічний час є неприпустимим, оскільки це провокує зростання кількості ДТП та знижує рівень безпеки громадян. Єдиним раціональним виходом є комплексна модернізація системи із повною заміною

застарілих ламп ДНаТ на високоефективні LED-світильники із паралельним впровадженням автоматизованих систем інтелектуального управління (АСУЗО). Це дозволить реалізувати функцію диммінгу (зниження яскравості ліхтарів у години низької інтенсивності руху), що є ключовим кроком до розбудови концепції «Розумного міста» (Smart City) в Тернополі.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Світлове оформлення міста та принципи зовнішнього освітлення

У вечірній час доби у містах необхідним є забезпечення найнеобхідних світлових умови. Сучасна світлотехнічні засоби дозволяють досягти великого результату в цьому відношенні, якщо при проектуванні систем вуличного освітлення дотримуватися загальних принципів раціонального освітлення і вимог щодо окремих елементів зовнішнього освітлення.

Установки зовнішнього освітлення міст можна умовно розділити на такі групи: вуличне освітлення, архітектурне освітлення фасадів будівель та елементів споруд, ландшафтне освітлення парків, садів та бульварів, установки світлова реклама та освітлення вітрин.

Усі вище перелічені групи установок зовнішнього освітлення міст не є окремими, ізольованими один від одного елементами, а функціонують у безпосередній взаємодії та доповненні один одного. Для прикладу, при освітленні фасаду будівлі яскравість його поверхні створюється світловим потоком, який може надходити, як від системи спеціального архітектурного підсвічування, так і від світильників вуличного освітлення, світлових рекламних щитів та систем освітлення вітрин, які розташовані навпроти. Тому окрему увагу слід приділяти взаємній координації окремих частин та єдності архітектури та оформлення світлового середовища міста, а світлове оформлення міста необхідно створювати як частину гармонійної композиції його вечірнього вигляду.

Для світлового оформлення міських вулиць та магістралей необхідно передусім приділяти увагу світильникам вуличного освітлення, вибору їх типу, висоти та конструкції опор, на які вони мають бути встановлені. Крім того, необхідно визначити можливості освітлення вітрин та його вплив на освітлення тротуарів та проїжджої частини вулиці. Слід також врахувати спеціальне архітектурне підсвічування фасадів історичного чи художнього значення,

розташованих вздовж вулиці, для якої виконується проектування системи вуличного освітлення. При цьому, слід звертати увагу і на те, що архітектурне рішення щодо системи освітлення вулиці може мати залежність не так від рівнів світлотехнічних параметрів освітлення, як від гармонійного поєднання та стильової єдності окремих частин освітлювальної системи та від ступеня зменшення блиску в полі зору.

1.2 Вимоги щодо проектування систем вуличного освітлення

Розробка проєктів систем освітлення вулиць та доріг включає в себе світлотехнічну та електричну частини, а також передбачає зіставлення техніко-економічних показників та порівняння варіантів систем освітлення. Світлотехнічна частина проєкту передбачає:

- виконання розрахунку середньої яскравості дорожнього покриття;
- розрахунок середньої горизонтальної освітленості на поверхнях непроїжджних частин вулиць, доріг та площ, бульварів та скверів;
- розрахунок середньої напівциліндричної освітленості в зонах пішохідного руху;
- розрахунок вертикальної освітленості у площині вікон фасадів житлових та громадських будівель.

Нормовані чисельні значення середньої яскравості дорожніх покриттів залежно від типу вулиць та доріг з асфальтно-бетонним покриттям приведені на діаграмах рис. 1.12 [2, 3].

Як видно із приведених вище діаграм, нормовані значення середньої яскравості визначаються, виходячи із приналежності вулиці до категорії об'єкта за освітленням та найбільшою інтенсивністю руху транспорту. Категорії об'єктів за освітленням:

А – магістральні дороги та вулиці загальноміського значення, які поділяються на дороги та вулиці з безперервним та регульованим рухом;

Б – вулиці магістральні районного значення;

категорія В – вулиці й дороги місцевого значення, які за основним призначенням вулиці житлові; дороги в зонах промислових, комунально-складських, науково-виробничих; проїзди різних типів; дороги паркові, дороги для господарського призначення, доріжки пішохідні; доріжки велосипедні.

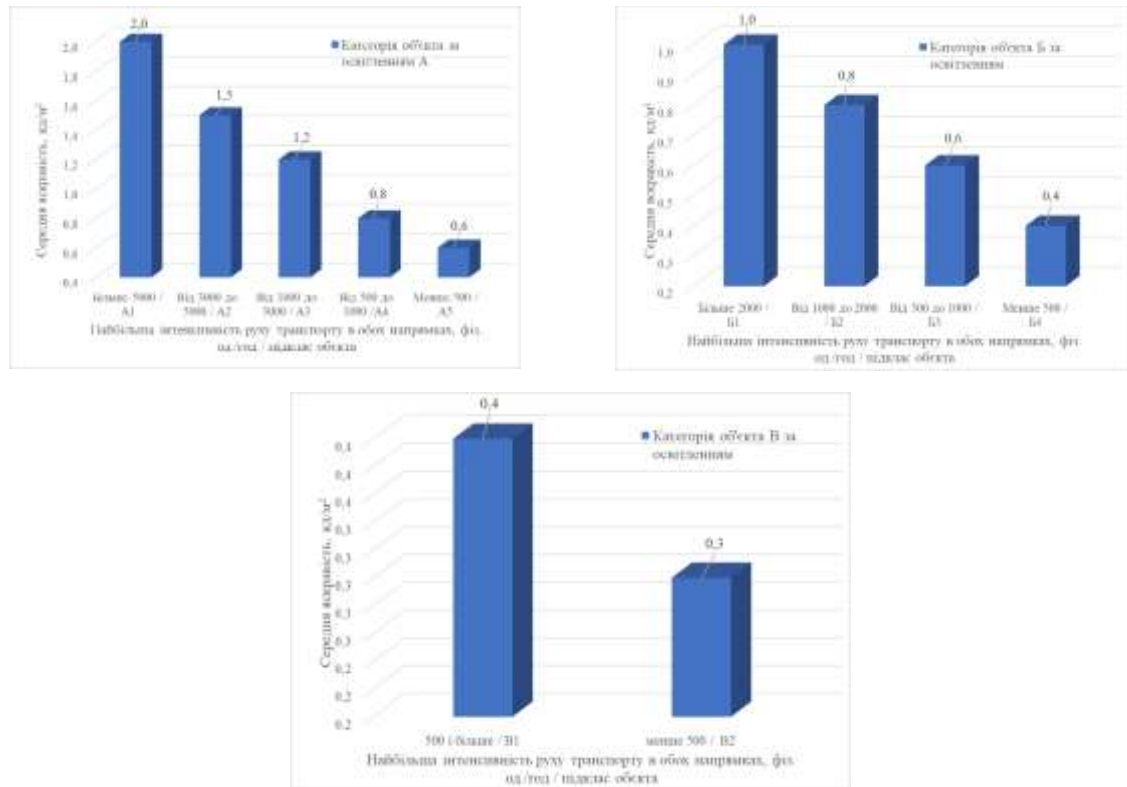


Рисунок 1.1 – Діаграми нормованих значень середньої яскравості для доріг і вулиць міст з асфальтно-бетонним покриттям різних категорій

Інтенсивність N_{\max} (найбільша) руху транспорту в обох напрямках протягом розрахункової години визначається шляхом розрахунку, відповідно до методики наведеної у додатку К [2]. Відповідно до цієї методики N_{\max} розраховується шляхом добутку річної середньодобової інтенсивності руху транспорту $N_{\text{доб}}$ та коефіцієнтів: години пік для міст України $K_{11} = 0,08...0,10$, 30-ої години пік у році $K_{12} = 1,3$, нерівномірності руху за напрямками $K_{13} = 1,5...2,5$:

$$N_{\max} = N_{\text{доб}} \cdot K_{11} \cdot K_{12} \cdot K_{13}, \quad (1.1)$$

Середньодобову інтенсивність руху транспорту можна розрахувати, виходячи із формули:

$$N_{\text{доб}} = \frac{100 \cdot N_{\text{роз}} \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4}{K_1}, \quad (1.2)$$

де $N_{\text{роз}}$ – інтенсивність руху транспорту (розрахункова) протягом години із мінімальним коефіцієнтом варіації

K_1, K_2, K_3, K_4 – коефіцієнти, нерівномірності руху транспорту відповідно за годинами доби, за днями тижня, за місяцями року та за період від 24.00 до 6.00.

При використанні на вулиці чи дорозі нижчого, відмінного від асфальтно-бетонного типу покриття, то для таких доріг чи вулиць регламентованим світлотехнічним параметром є середня горизонтальна освітленість, яка становить 6 лк для вулиць і доріг категорії Б, 4 та 2 лк – для категорії В при покритті відповідно перехідного та нижчого типу.

Окрім цього, у нормах [2] висуваються вимоги ще й щодо рівномірності розподілу яскравості (табл. 1.1), нормовані показники якої наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Нормовані показники рівномірності розподілу яскравості на поверхні дорожнього покриття вулиць та доріг

| Показник рівномірності | Середня яскравість дорожнього покриття, кд/м ² | |
|---|---|-------------|
| | Понад 0,6 | 0,6 і нижче |
| Відношення мінімальної яскравості до середньої | 0,4 | 0,3 |
| Відношення мінімальної яскравості до максимальної | 0,6 | 0,4 |

Для вулиць і доріг таких типів (де нормованим світлотехнічним параметром є яскравість дорожнього покриття), висуваються вимоги і до якісних показників:

- показника засліпленості, значення якого повинно бути меншим або дорівнювати 150:

$$P = 100 \cdot (S - 1), \quad (1.3)$$

де S – коефіцієнт засліпленості

- порогового приросту яскравості, який повинен бути меншим або дорівнювати 15 % при яскравості покриття дороги від 0,4 до 0,8 кд/м² та 10 % – при яскравості від 1,2 до 2,0 кд/м².

Пороговий приріст яскравості TI розраховується в залежності від вертикальної освітленості E_{vi} , що створюється світловим потоком від i -го світильника на органі зору водія, кута θ_i між лінією зору водія та напрямком свічення i -го світильника, – чисельного значення $L_{сер}$ середньої яскравості покриття дороги:

$$TI = \frac{k \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \frac{E_{vi}}{\theta_i^2}}{L_{сер}^{1,05}}, \quad (1.4)$$

де k – коефіцієнт, який визначається в залежності від середньої яскравості покриття дороги і становить 950 $L_{сер} > 5$ кд/м² та 650 – при $L_{сер} \leq 5$ кд/м².

Нормовані світлотехнічні параметри систем освітлення непроїзних частин дороги (тротуарів, зупинок громадського транспорту), а також пішохідних переходів визначаються в залежності від категорії доріг та вулиць та їх нормованих світлотехнічних параметрів.

Так, середня яскравість тротуарів, які примикають до проїзних частин вулиць, доріг та площ не повинна бути меншою за середню яскравість дорожнього полотна, чисельні значення якої приведені на діаграмах рис. 1.1.

Якщо на ділянці дороги чи вулиці, для якої виконується проектування, в якості нормованого світлотехнічного параметру регламентується освітленість, то якісним показником для систем освітлення таких доріг є сила світла

світильників в установці по лінії зору водія, чисельні значення якої не повинні бути більшими, ніж 30 кд/1000 лм при куті 80° від вертикалі та 10 кд/1000 лм – при куті 90°.

В системах освітлення наземних пішохідних переходів та тротуарів й площадок зупинок громадського транспорту регламентованим світлотехнічними параметрами є відповідно середня й мінімальна середня та середня освітленість. При освітленні наземних пішохідних переходів комерційних та промислових зон середня та мінімальна середня освітленість повинна становити 30 лк та 15 лк відповідно, а для житлових зон – 20 лк та 6 лк.

В системах освітлення тротуарів, відділених від проїзних частин вулиць та доріг категорій А та Б, середня горизонтальна освітленість повинне становити не менше 4 лк, а вулиць категорії В – не менше та 2.

Щодо освітлення зупинок, то незалежно від категорії вулиці чи дороги, середня горизонтальна освітленість повинна становити не менше 10 лк.

1.3 Відомості про об'єкт проєктування

Вулиця Вояків дивізії «Галичина» є однією із вулиць центральної частини міста Тернополя, розташована паралельно колій залізничної станції Тернопіль. Розміщення вулиці Вояків дивізії «Галичина» на мапі Тернополя показано на рис. 1.2 [4].

Вулиця простягається від перехрестя 1 (вулиць Збараська та Бродівська), від заїзду під двоарковий міст до примикання 2 із вулицею Степана Бандери.

До вулиці примикають:

- вулиця Вертепна (в1);
- вулиця Городня (в2);
- вулиця Паркова (в3).

Вздовж вулиці розташовані переважно житлові будівлі, проте є декілька з приміщеннями комерційного призначення.

Рух автомобільного транспорту по вулиці – двосторонній. Рух

частини I вулиці розміщена зона паркування автомобілів (рис. 1.5 в) шириною 2,5 м.

Протяжність частини I вулиці становить 620 м.



а)



б)



в)

Рисунок 1.4 – Зображення частини I (а) вулиці Вояків дивізії «Галичина», пішохідного переходу (п1) та зони паркування автомобілів (в)

Протяжність частини II вулиці становить 220 м.

Ширина проїжджої частини – 9,5 м. Покриття проїжджої частини – асфальт (рис. 1.5).

Тротуари пролягають по обидва боки проїжджої частини. Ширина тротуарів становить по 2,0 м.

У фрагменті частини II вулиці є розмежування смуги руху з використанням плит з бетону. Довжина фрагменту із розмежуванням становить 80 м.

В частині вулиці розміщена одна зупинка громадського транспорту «Залізничний вокзал», проте з 24 лютого 2022 року єдиний автобусний маршрут № 2, який курсував через цю зупинку припинив роботу.

Однак, навпроти зупинки, на протилежному боці вулиці облаштовано

зупинку для маршрутних автобусів приміського сполучення.

На цій ділянці вулиці розміщено два пішохідні переходи:

- наземний нерегульований п2 (рис. 1.6 а), розміщений біля примикання 2 до проспекту Степана Бандери (рис. 1.2);

- надземний п3 (рис. 1.6 б), розміщений біля примикання із вулицею Паркова та є частиною пішохідного переходу через залізничні колії станції Тернопіль.



а)



б)

Рисунок 1.5 – Зображення частини П (а) вулиці Вояків дивізії «Галичина» та її частини (б) з розмежуванням смуг рухи плитами із бетону

1.4. Висновки до розділу

1. Розглянуто принципи зовнішнього освітлення міст. Визначено, що проектування систем зовнішнього освітлення (вуличного, ландшафтного чи архітектурного) повинно базуватися на принципах раціонального використання світлотехнічних засобів, гармонійному поєднанні різних видів освітлення та врахуванні архітектурних особливостей міста.

2. Проаналізовано нормативні світлотехнічні вимоги, котрі висуваються до

систем вуличного освітлення. Встановлено, середня яскравість поверхні покриття проїжджої частини для вулиць та доріг категорій А, Б та В що є основним кількісним регламентованим параметром систем освітлення. Якісними показниками є пороговий приріст яскравості та показник засліплення.



а)



б)

Рисунок 1.6 – Пішохідні переходи частини II вулиці Вояків дивізії «Галичина»:

а) наземний п2 (зображення зі сторони проспекту Степана Бандери;

б) надземний п3

3. Наведено основні відомості про об'єкт проектування. Метою даної роботи є розроблення технічних рішень щодо модернізації систем освітлення вулиці Вояків дивізії «Галичина». Для досягнення цієї мети в роботі необхідним є виконання наступного:

- обстеження системи освітлення вулиці;
- вибір нормованих світлотехнічних параметрів та їх чисельних значень;
- моделювання та світлотехнічний розрахунок освітлювальних систем проїжджих частин, тротуарів, та пішохідних переходів;
- розрахунок кількості споживання електроенергії запропонованою системою освітлення та її порівняння із діючою.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Обстеження систем освітлення вулиці

В системах освітлення вулиць у м. Тернополі на даний час відбувається перехід від світлових приладів із газорозрядними та світлодіодними лампами на світлові прилади із напівпровідниковими джерелами світла, розміщеними на платах. Окрім цього, в електричних освітлювальних мережах систем вуличного освітлення також здійснюється перехід від неізолюваних проводів на самонесучі ізолювані проводи типу СП. Тому всі системи освітлення вулиць міста Тернополя можна умовно поділити на типи відносно встановлених світлових приладів та електричних освітлювальних мереж. Такі типи систем освітлення приведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Типи систем вуличного освітлення та електричних освітлювальних мереж м. Тернополя

| Тип систем освітлення | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Джерела світла у світлових приладах | Газорозрядні лампи | + | + | + | + | | | | | | |
| | Світлодіодні лампи | | | | | + | + | | | | |
| | Світлодіодні плати | | | | | | | + | + | + | + |
| Спосіб монтажу світлових приладів | На кронштейн | + | | + | | + | + | + | + | | |
| | На підвіс | | + | | + | | | | | + | + |
| Елементи електричної освітлювальної мережі | Самонесучі ізолювані проводи | + | + | | | + | | + | | + | |
| | Неізолювані проводи | | | + | + | | + | | + | | + |

2.1.1 Системи освітлення проїжджої частини та тротуарів

В системі освітлення проїжджої частини застосовуються світильники типу ЖКУ (рис. 2.2), джерелом світла в яких є натрієва лампа високого тиску типу ДНаТ потужністю 150 Вт.

Світильники встановлені на кронштейнах, розміщених на опорах СК 120-12. Висота встановлення світильників 11,0 м.

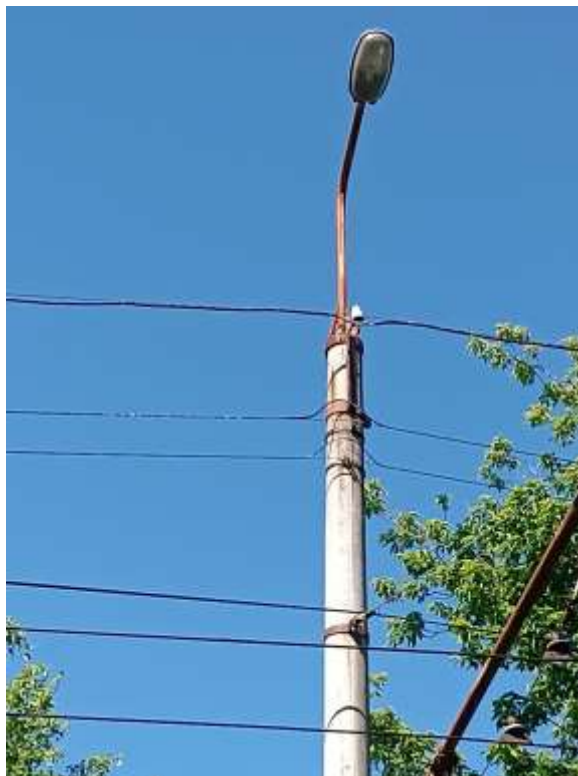


Рисунок 2.2 – Світильники із лампами ДНаТ-150 в системі освітлення вулиці

В системі освітлення частини І вулиці застосовано 22 світильники, розміщених на опорах (по одному на кожній). Опори розташовані в один ряд (рис. 2.3 а). Для освітлення місця примикання вулиці Паркової застосовується додатково ще один світильник (рис. 2.3 б).

Відстань між опорами становить від 25 до 35 м. Відстань між опорою та краєм проїжджої частини, тобто від зовнішньої поверхні цоколя опори до долицьової грані бордюру становить 0,6 м. Виліт світильника над проїжджою частиною (відстань від краю проїжджої частини до проєкції світильника на її

поверхню) становить 1,0 м.



а)



б)

Рисунок 2.3 – Зображення опор зі світловими приладами в системі освітлення тротуарів та проїжджої частини I (а) вулиці та додаткової опори (б) зі світильником для освітлення примикання вулиці Паркова

В системі освітлення частини I вулиці живлення світильників здійснюється по самоутримних ізольованих проводах.

В системі освітлення частини II вулиці світильники розміщуються наступним чином:

- від примикання вулиці Паркової до початку зони зупинки «Залізничний вокзал» – одностороннє розміщення двох опор (рис. 2.4 а), відстань між опорами становить 25 м;

- зона зупинки «Залізничний вокзал» – двостороннє розміщення опор (рис. 2.4 б), відстань між опорами – від 18 та 28 м;

- вздовж фрагменту розмежування смуги руху – одностороннє розміщення опор в межах зеленої зони з трьома додатковими опорами, розміщеними на тротуарах (рис. 2.4 в), відстань між опорами - від 20 до 26 м.



а)



б)



в)

Рисунок 2.4 – Зображення опор системи освітлення проїжджої частини та тротуарів системи освітлення частини II вулиці

Аналогічно, як і для частини I живлення світильників здійснюється по самоутримних ізольованих проводах.

Таким чином в системі освітлення проїжджих частин та тротуарів вулиці використовується 41 світильник типу ЖКУ із лампами типу ДНаТ-150.

2.1.2 Освітлення пішохідних переходів та зупинок громадського транспорту

Для освітлення пішохідного переходу п1 додатково застосовуються два світлові прилади з напівпровідниковими джерелами світла, розміщені на опорі СК 120-12 (рис. 2.5 а) та на додатково встановленій опорі (рис. 2.5 б).

Освітлення пішохідного переходу п2 забезпечується існуючими світловими приладами системи вуличного освітлення проспекту Степана Бандери (рис. 2.6 в). Крім того передбачено встановлення додаткових світлових

приладів.

Для освітлення надземного пішохідного переходу п3 застосовуються встановлені над його поверхнею на додаткових конструкціях шарові світильники (рис. 2.6 г).

Оскільки для переходів п1 та п2 використовуються існуючі напівпровідникові світлові прилади, а для переходу п3 світильники із світлодіодними лампами (крім того сам надземний пішохідний перехід (разом із його системою освітлення) є частиною пішохідного переходу через залізничні колії, то в подальшому системи освітлення цих переходів розглядати не будемо.

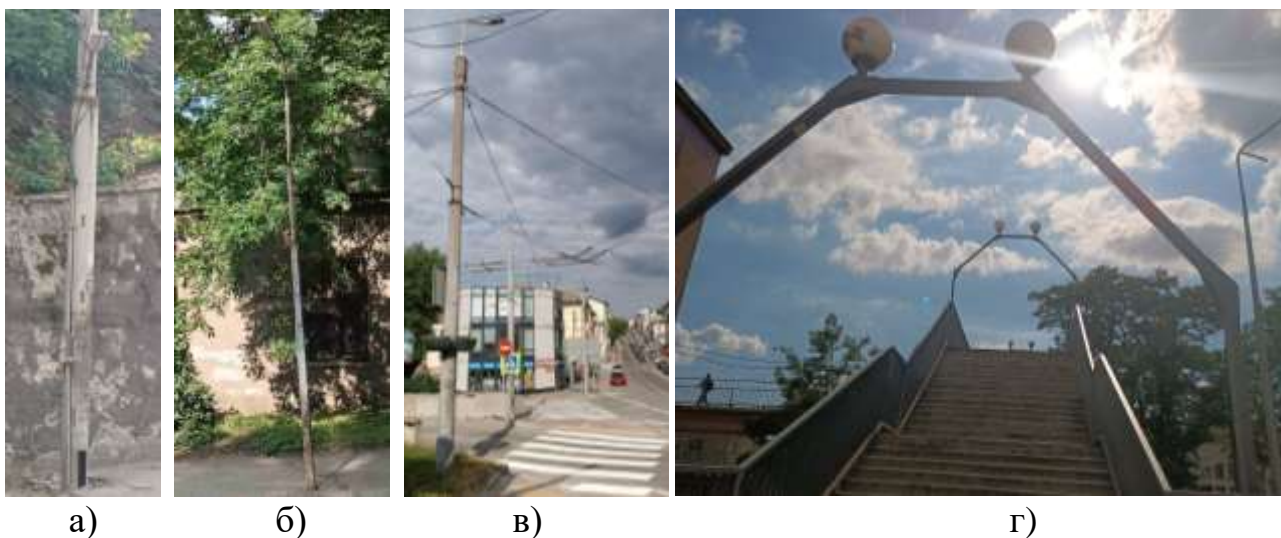


Рисунок 2.5 – Світлові прилади для освітлення пішохідного переходу п1 (а, б), переходу п2 (в) та надземного пішохідного переходу п3 (в)

Аналогічно, як і для освітлення пішохідного переходу п1, додаткові світлові прилади для освітлення зупинки громадського транспорту «Залізничний вокзал» не використовуються.

2.1.3 Розрахунок рівня споживання електричної енергії існуючою системою освітлення вулиці

Виконаємо розрахунок у відповідності із методикою, приведеною у п. 7.7 [5]. Розрахункове значення рівня споживання електроенергії W , котра

затрачається на живлення системи зовнішнього освітлення вулиці можна отримати, використовуючи формулу:

$$W = T \cdot P_{\text{л}} \cdot K \cdot N \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_2 \cdot \sigma_3, \quad (2.1)$$

де T – кількість годин роботи (тривалість роботи) системи освітлення протягом одного року, год;

$P_{\text{л}}$ – чисельне значення номінальної потужності однієї лампи, кВт;

K – коефіцієнт втрат електричної енергії у пуско-регулювальних апаратах (ПРА);

N – кількість світильників в системі освітлення вулиці;

σ_1 – коефіцієнт втрат напруги в електричних мережах зовнішнього освітлення, який становить 0,9;

σ_2 – коефіцієнт пошкоджень в освітлювальних мережах;

σ_3 – коефіцієнт, який враховує частину діючих світлових точок, значення якого становить 0,95.

Розрахунок виконаємо помісячно. Кількість годин (тривалість роботи) системи освітлення протягом одного року визначимо, виходячи із графіку вмикання/вимикання зовнішнього освітлення м. Тернополя [3] (наданого КП «Тернопільміськвітло»).

Даний графік приведено на рис. 2.6, з якого видно, що найраніший час увімкнення зовнішнього освітлення м. Тернополя – о 16:31:00 (протягом періоду 06 – 15 грудня), а найпізніший – о 21:47:00 (протягом періоду 01 – 05 липня). Найраніший час вимкнення зовнішнього освітлення – о 4:36:00 (протягом періоду 16 – 20 червня), а найпізніше освітлення вимикається – о 7:47:00 (протягом періоду 01 – 05 січня). Піки на графіках пояснюються переведенням годинника з зимового на літній час і навпаки.

Звідси кількість годин (тривалість роботи) систем зовнішнього освітлення в режимі увімкнення за добу протягом року змінюється від 6 год 50 хв (протягом періоду 21 – 25 червня) до 15 год 10 хв (протягом періоду 21 – 25 грудня).

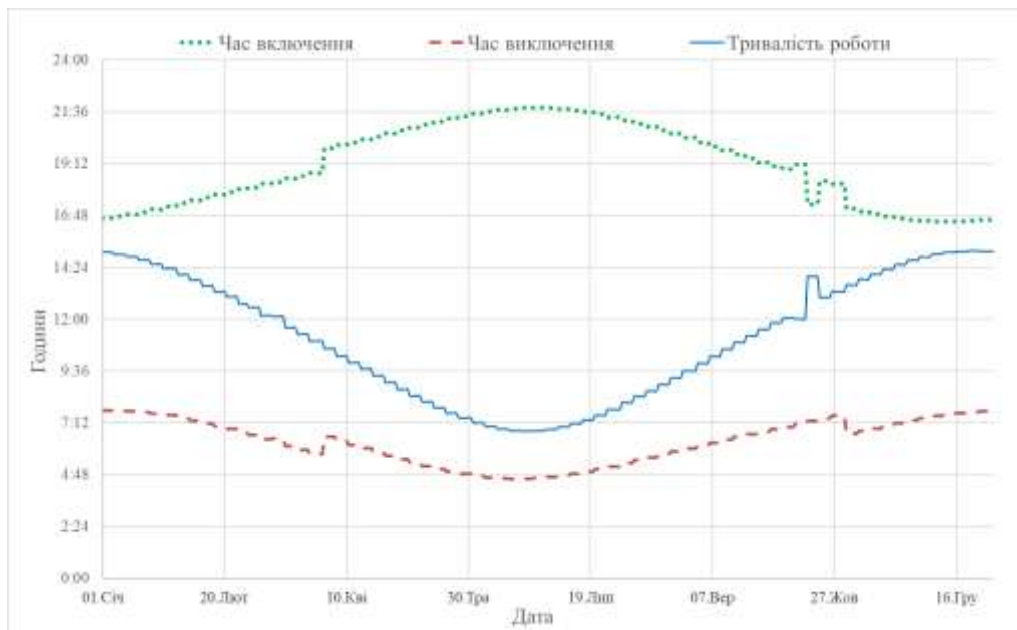


Рисунок 2.6 – Графік вмикання/вимикання зовнішнього освітлення м. Тернополя

Кількість годин роботи по місяцях показано у вигляді діаграми, зображеної на рис. 2.7. Просумувавши кількість годин роботи за всі місяці, встановимо, що сумарна тривалість роботи зовнішнього освітлення протягом року дорівнює 4034,2 год.

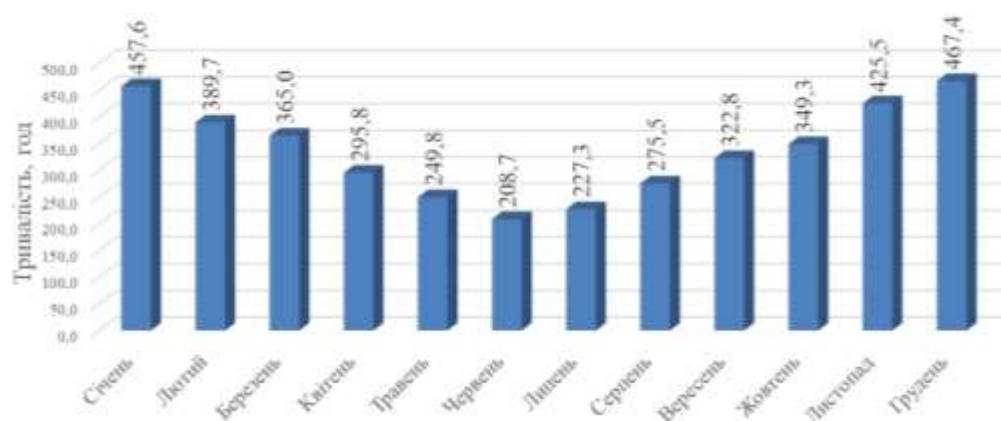


Рисунок 2.7 – Тривалість роботи системи зовнішнього освітлення м. Тернополя протягом року, розбита по місяцях

Коефіцієнт втрат в ПРА визначимо з табл. 8.4 [5]. Приймаємо, що в усіх світильниках системи освітлення вулиці використовуються електронні ПРА,

тому $K = 1,06$.

Кількість світильників в системі освітлення вулиці Вояків дивізії «Галичина» становить $N = 41$ [6], а потужність 1 лампи в світильнику – $P_n = 0,15$ кВт. Підставивши ці чисельні значення, а також кількість годин роботи $T = 457,6$ год зовнішнього освітлення м. Тернополя для січня місяця та чисельні значення коефіцієнтів $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ у формулу (2.1), одержимо:

$$W = 457,6 \cdot 0,15 \cdot 1,06 \cdot 41 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \approx 2295 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Аналогічно розраховуємо і для інших місяців. Результати розрахунку приведено на діаграмі, що на рис. 2.8.

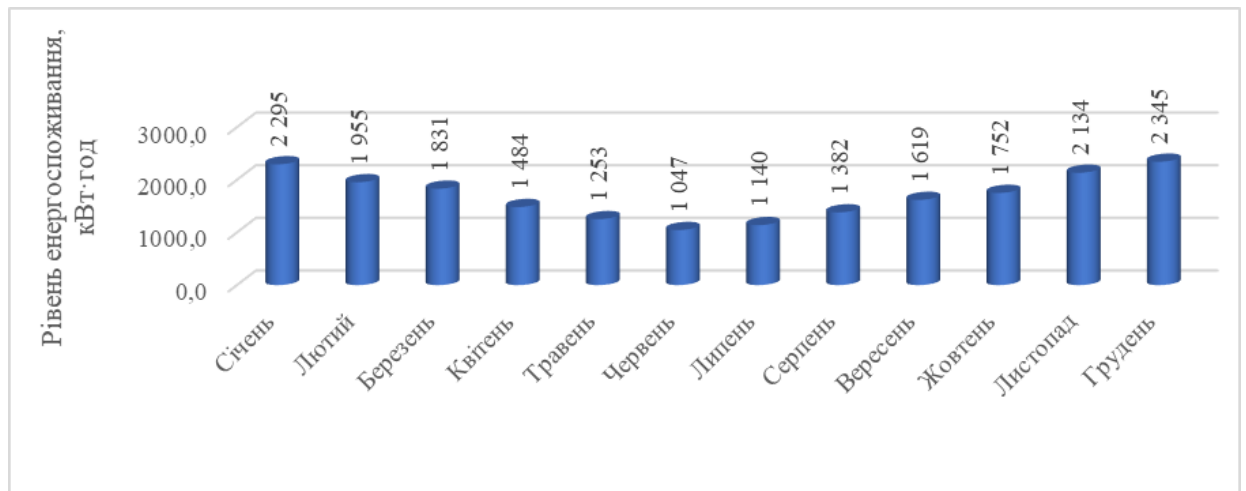


Рисунок 2.8 – Розрахунковий рівень споживання електричної енергії системою освітлення на основі світильників ЖКУ з лампами ДНаТ-150 вулиці Вояків дивізії «Галичина»

Сумарне розрахункове енергоспоживання системою освітлення протягом року становить 20,238 тис. кВт·год.

2.1.4 Заходи щодо модернізації системи освітлення вулиці

Заходи модернізації, які пропонуються в роботі полягають у наступному:
- пряма заміна світлових приладів із лампами типу ДНаТ-150 на світлові прилади із напівпровідниковими джерелами світла;

- застосування світлових приладів з функцією диммінгу.

Обґрунтування доцільності заміни світильників із газорозрядними лампами на напівпровідникові, полягає у наступному:

1. Підвищення енергоефективності за рахунок вищої світлової віддачі, яка для сучасних світлодіодів 40 – 70 % вища, ніж для газорозрядних джерел світла, що дає змогу при створенні однакових світлотехнічних параметрів систем освітлення знизити споживання електричної енергії на їх живлення.

2. Можливість тривалішого використання (у 2 – 2,5 рази) світлодіодних світильників за рахунок тривалого терміну служби (від 50 до 100 тис. год, причому втрати світлового потоку не перевищують 30 % [7]). Це дозволяє також дозволяє суттєво знизити витрати на заміну джерел світла та обслуговування систем освітлення в процесі експлуатації.

3. Вища якість освітлення при використанні світлодіодних світильників, яка полягає у:

- вищій кольоропередачі, а також у можливості вибору джерел світла із необхідними колориметричними параметрами (корельована колірна температура, індекс кольоропередачі);

- відсутності необхідного часу для перезапалювання при короткочасному знеструмленні електричної освітлювальної мережі;

- практично відсутності пульсацій світлового потоку (в сучасних напівпровідникових світлових приладах рівні пульсацій не перевищують 5 %).

4. Екологічна безпека та економічність в утилізації: відсутність у складі напівпровідникових джерел світла ртутної складової, що не потребує додаткових затрат на утилізацію.

5. Стійкість до зовнішніх механічних впливів, вібрацій та низьких температур, що є досить вагомою перевагою для світильників зовнішнього освітлення.

Обґрунтування світильників із функцією диммінгу полягає у наступному:

1. Пряма фінансова економія: диммінг дозволяє знижувати споживану

потужність на 20 – 50 % у години з низькою інтенсивністю руху, що дозволяє знижувати витрати на електроенергію для живлення освітлювальних систем.

2. Зниження навантаження на енергосистему за рахунок зниження енергоспоживання системами вуличного освітлення у години-пік без вимикання вуличного освітлення

3. Продовження терміну служби світлодіодів та блоків живлення за рахунок зниження споживаного струму, а отже уникнення перегріву електронних компонентів (робота при зниженій потужності збільшує термін експлуатації LED-матриці на 20 – 30 %, що дозволяє збільшити інтервал між ремонтами світлотехнічного обладнання).

4. Збереження безпеки. При шаховому вимкненні світлових приладів з метою економії електричної енергії може створюватись чергування яскравих та темних плям на поверхні дорожнього полотна (ефект зебри). При використанні світильників із функцією диммінгу знижується світловий потік усіх світильників, а отже яскравість і освітленість поверхонь доріг та тротуарів одночасно, що дозволяє очам водія більш легше адаптуватись до рівномірного освітлення, хоч і меншої інтенсивності.

5. Екологічний аспект. Зниження енергоспоживання світильників зменшує викиди CO₂ за рахунок зменшення необхідної генерації електричної енергії. Крім того, зниження світлового потоку світильників вуличного освітлення зменшує ефект світлового забруднення атмосфери.

2.2 Вибір нормованих світлотехнічних параметрів системи освітлення вулиці

В аналітичному розділі зазначено, що головними нормованими світлотехнічними параметрами систем вуличного освітлення вулиць є яскравість або освітленість дорожнього покриття, значення яких визначаються в залежності від категорії дороги чи вулиці, яку потрібно визначити перш за все.

Інтенсивність руху транспортних засобів вздовж вулиці Вояків дивізії «Галичина» є низькою вдень та в нічний час доби і може становити 5 – 10 одиниць за годину. Проте, в години пік інтенсивність руху суттєво зростає. Крім того, через вулицю планується прокладання шляхопроводу до вулиці Замонастирської, що суттєво збільшить інтенсивність руху. Тому приймемо, що вулиця відноситься до категорії БЗ за освітленням.

Оскільки покриттям дорожнього полотна частини I вулиці є «історична бруківка», яка відноситься до перехідного типу покриття, то відповідно до абзацу другого п. 8.5.2 [2] основним регламентованим світлотехнічним параметром є середня освітленість, чисельне значення якої для вулиць та доріг категорії Б становить 6 лк, а відношення максимальної освітленості до середньої не повинно перевищувати 3:1.

Окрім цього, на вулицях і дорогах з середньою освітленістю, як нормативним світлотехнічним параметром, у п. 8.5.8 [2] рекомендується обмежувати силу світла світильників по лінії зору водія:

- не більше 30 кд/1000 лм, при куті 80° від вертикалі;
- не більше 10 кд/1000 лм, при куті 90° .

Проїжджа частина II вулиці має асфальтно-бетонне покриття, тому основним нормованим світлотехнічним параметром є середня яскравість. Відповідно до табл. 8.27 [2] чисельне її значення для вулиць та доріг категорії БЗ становить 0,6 кд/м². Рівномірність її розподілу визначається відношеннями (п. 8.5.4 [2]):

- мінімальної яскравості до середнього значення, яке при нормованій середній яскравості до 0,6 кд/м² включно має бути не нижчим, ніж 0,3;
- мінімальної яскравості до максимальної по смузі руху, яке при нормованій середній яскравості до 0,6 кд/м² включно має бути не нижчим, ніж 0,4.

Відповідно до табл. 8.28 [2] пороговий приріст яскравості T_I при нормованій середній яскравості 0,6 кд/м² не повинен перевищувати 15 %.

Відповідно до табл. 8.30 [2] усі тротуари вулиці відповідають підкласу П4

пішохідних просторів (зон), нормоване значення середньої освітленості для якого, відповідно до табл. 8.31 [2], становить 4 лк. Причому відношення чисельних значень середньої та максимальної освітленостей не повинне бути нижчим, ніж 1:5.

Відповідно до п. 8.12.1 [2] середня освітленість зупинок громадського транспорту повинна становити 10 лк, незалежно від категорії вулиці.

Підсумовуючи вище наведене, занесемо нормативні дані в табл.

Таблиця 2.2 – Нормовані значення світлотехнічних параметрів систем освітлення вулиці

| Освітлювальні об'єкти | $L_{сер},$ кд/м ² | U_0 | U_1 | $П,$ % | $E_{сер},$ лк | $E_{min},$ лк | $E_{сер} /$ E_{max} |
|---------------------------------|---------------------------------|-------|-------|-----------|------------------|------------------|--------------------------|
| Проїжджа частина I вулиці | | | | | 6,0 | | 1:13 |
| Проїжджа частина II вулиці | 0,6 | 0,3 | 0,4 | 15 | | | |
| Тротуари та пішохідні зони | | | | | 4,0 | | 1:5 |
| Зупинки громадського транспорту | | | | | 10,0 | | 1:5 |

2.3 Вибір світлових приладів

Основною вимогою до світильників вуличного освітлення є виконання ними своїх функцій протягом терміну експлуатації, які полягають у [1, 9, 10]:

- необхідному перерозподілі світлового потоку, який випромінюють джерела світла;

- захисті джерел світла, блоків їх живлення та інших компонентів, які вмонтовані в середину світлових приладів, від навколишнього впливу (опади, пилюка, сонячні промені);

- забезпеченні безперебійного живлення джерел світла.

Звідси, вимоги, яким повинні відповідати вуличні світильники:

- 1) забезпечення виконання світлотехнічного завдання (створення та забезпечення необхідних рівнів нормованої освітленості чи яскравості на освітлювальних поверхнях, з обмеженням при цьому дискомфорту учасників дорожнього руху);

2) надійність (стабільність світлового потоку протягом терміну експлуатації, обмеження рівня пульсацій, стійкість до можливих перепадів напруги в мережі, тривалий термін служби);

3) енергоефективність (застосування світлових приладів з вищою світловою віддачею);

4) стійкість роботи під впливом навколишнього середовища (рівень пиловологозахисту, можливість безвідмовної роботи в широкому діапазоні температури, стійкість вітрових навантажень та опадів);

5) умови експлуатації (забезпечення мінімальних витрат на обслуговування, а також зручності ремонту та монтажу);

6) відповідність необхідним конструктивним вимогам (вандалостійкість, міцність корпусних деталей, якомога менша маса).

Виходячи із вищенаведеного, в якості світлових приладів для освітлення вулиці Вояків дивізії «Галичина» зупинимо свій вибір на вуличному світильнику типу ДКУ41 (рис. 2.9 [11]) виробництва ТОВ «ОСП Корпорація ВАТРА».

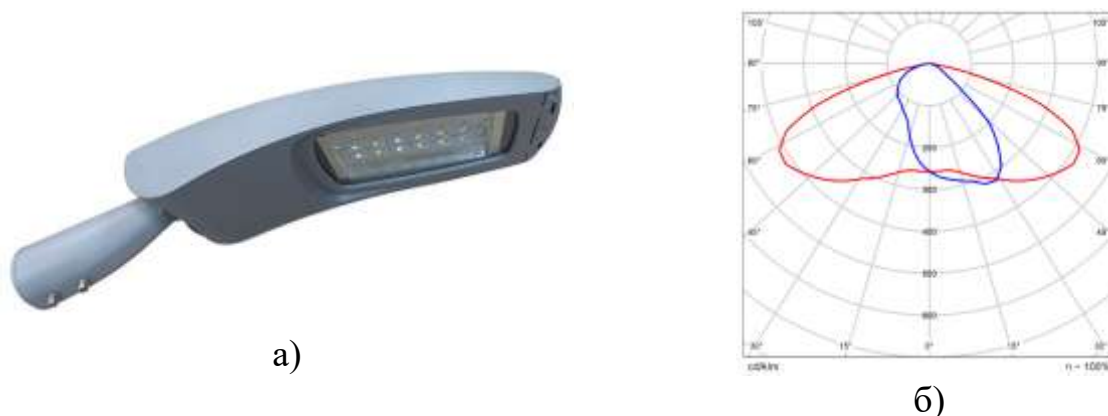


Рисунок 2.9 – Зображення зовнішнього вигляду (а) та кривої сили світла (б) світильника ДКУ41У

Світильники цього типу призначені для застосування в системах освітлення автомобільних доріг, вулиць, дорожніх розв'язок автомобільного транспорту, місць паркування, пішохідних зон та зупинок громадського транспорту, а також відкритих територій на підприємств виробничого, комерційного та адміністративного призначення. Технічні характеристики

світильників приведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики світильників типу ДКУ41У

| | |
|---|----------------|
| Характеристики | ДКУ41У |
| Напруга живлення, В | 230 AC, DC |
| Діапазон потужностей, Вт | 25 ... 100 |
| Коефіцієнт активної потужності | 0,95 |
| Світловий потік, лм | 3125 ... 14500 |
| Світлова віддача, лм/Вт | 125 ... 145 |
| Тип кривої сили світла (кут випромінювання °) | Ш (151×81) |
| Корельована колірна температура, К | 4000 |
| Клас електрозахисту | I |
| Ступінь пиловологозахисту | IP65 |
| Маса, кг | 1,5 ... 3,7 |
| Температура навколишнього середовища, °С | -30 ... +40 |

Для світильника ДКУ41У передбачена модифікації з блоками живлення з функцією диммінгу. Використання таких модифікацій дозволяє виконувати керування роботою світильником, а саме знижувати його світловий потік та споживану потужність, а отже – споживання електричної енергії системою освітлення. Кількість рівнів диммінгу – від 3 до 5, в залежності від модифікації блоку живлення, який має здатність працювати автономно без застосування додаткових систем керування.

Окрім цього, в світильнику передбачено можливість регулювання кута нахилу до 15 ° в обидві сторони відносно поздовжньої осі кріплення (рис. 2.10).

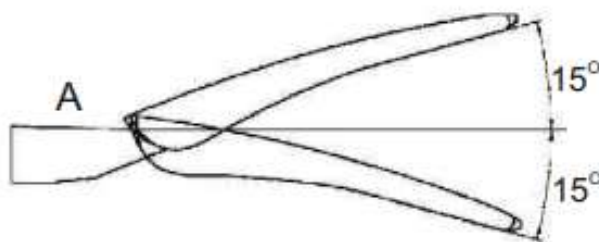


Рисунок 2.10 – Регулювання кута нахилу світильника ДКУ41У відносно поздовжньої осі кріплення

2.4 Застосування світильників з функцією диммінгу

Відповідно до п. 8.5.59 [2] для вулиць та доріг з нормованою середньою яскравістю $0,4 \text{ кд/м}^2$ або освітленістю 4 лк і вище в нічні години допускається зниження рівня освітленості або яскравості шляхом відключення не більше, ніж половини світильників або за допомогою зниження світлового потоку до рівня, який забезпечує рівень освітленості чи яскравості не нижчого ніж 50 % від нормованих значень.

Задля уникнення «ефекту зебри» застосуємо світильники з можливістю регулювання світлового потоку за допомогою функції диммінгу. Для модифікацій світильників ДКУ41У, в яких підтримується ця функція, передбачено застосування блоків живлення з трьома графіками диммінгу (рис. 2.11).

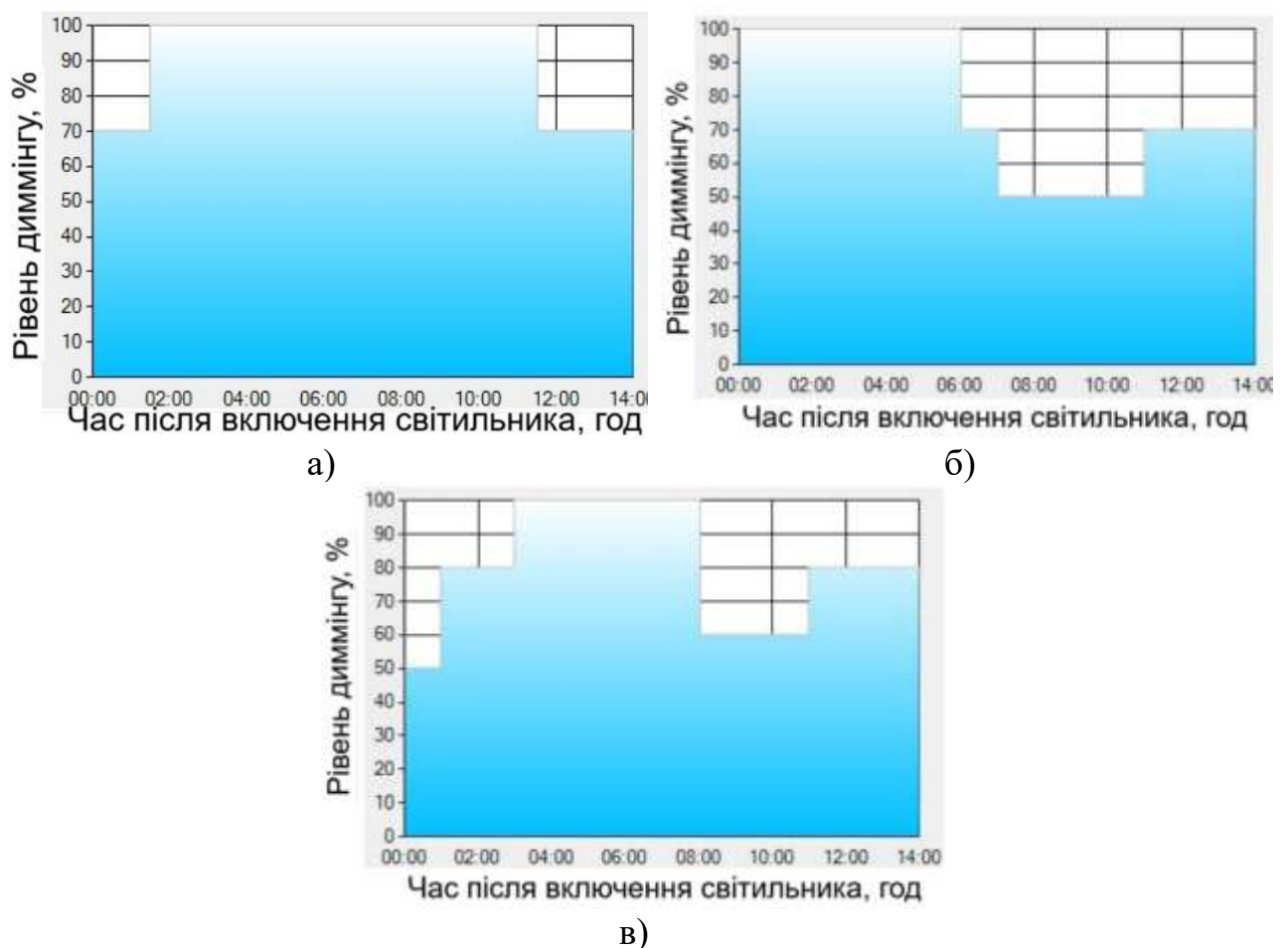


Рисунок 2.11 – Графіки диммінгу світильників ДКУ41У

Керування системою освітлення за графіком рис. 2.11 а (кількість рівнів 3) передбачає:

- роботу світильників на рівні потужності 70 % від номінальної протягом перших 1,5 год;
- роботу світильників на номінальній потужності протягом наступних 9 годин;
- роботу світильників на рівні потужності 70 % від номінальної протягом після 10,5 год роботи до їх вимкнення.

Керування системою освітлення за графіком рис. 2.11 б (кількість рівнів 4) передбачає:

- роботу світильників на номінальній потужності протягом перших 6 год;
- роботу світильників на рівні потужності 70 % від номінальної протягом 7-ї години їх роботи;
- роботу світильників на рівні потужності 50 % від номінальної протягом наступних 4 год їх роботи;
- роботу світильників на рівні потужності 70 % від номінальної протягом після 11 год роботи до їх вимкнення.

Керування системою освітлення за графіком рис. 2.11 в (кількість рівнів 5) передбачає:

- роботу світильників на рівні потужності 50 % від номінальної протягом першої години їх роботи;
- роботу світильників на рівні потужності 80 % від номінальної протягом другої та третьої годин їх роботи;
- роботу світильників на номінальній потужності протягом наступних 5 годин;
- роботу світильників на рівні потужності 60 % від номінальної протягом наступних восьмої – одинадцятої годин їх роботи;
- роботу світильників на рівні потужності 80 % від номінальної протягом після 11 год роботи до їх вимкнення.

Вибір графіка димерування виконано в розрахунковому розділі на основі

розрахунку рівнів споживання електричної енергії модернізованими системами освітлення із врахуванням часу включення та виключення систем освітлення у м. Тернополі виконано в розрахунковому розділі.

2.5 Висновки до розділу

1. На основі обстеження систем освітлення мікрорайонів встановлено, що в діючій системі освітлення використовуються 41 світильник типу ЖКУ з лампами ДНаТ-150.

2. Розрахунковий річний рівень енергоспоживання системою освітлення вулиці становить 20,238 тис. кВт·год при сумарній тривалості роботи зовнішнього освітлення протягом року 4034,2 год.

3. В якості заходів модернізації системи освітлення вулиці вибрано пряму заміну світлових приладів із газорозрядними лампами на світлодіодні світильники типу ДКУ41У з модифікаціями, які підтримують функцію диммінгу.

4. Вибрано нормовані світлотехнічні параметри систем освітлення. Для проїжджої частини вулиці, покриття якої є бруківка в якості основного нормованого світлотехнічного параметру регламентується середня освітленість на рівні 6 лк. Для проїжджих частин з асфальтно-бетонним покриттям – середня яскравість на рівні 0,6 кд/м². Нормовані значення середньої горизонтальної освітленості на поверхні тротуарів та зупинок становлять відповідно 4 та 10 лк.

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Світлотехнічний розрахунок систем освітлення вулиці

3.1.1 Вихідні дані для світлотехнічного розрахунку

Світлотехнічний розрахунок системи освітлення вулиці Вояків дивізії «Галичина» виконаємо за допомогою спеціалізованого програмного пакету DIALux evo, в якому вихідними даними для світлотехнічного розрахунку вуличного освітлення є:

- інформація щодо проїжджої частини та тротуарів: їх ширина, розміщення тротуарів, кількість смуг в одному напрямі для автомобільного транспорту, тип покриття проїжджої частини;

- інформація щодо світлових приладів: тип світлових приладів, їх світлотехнічні параметри (вносяться в середовище пакету шляхом завантаження спеціальних фотометричних файлів типів LDT або IES), коефіцієнт запасу;

- інформація щодо розташування світлових приладів (рис. 3.1): висота точок розміщення світильників (1) над поверхнею проїжджої частини, світловий звис (2), тобто відстань по горизонталі між проєкцією точки встановлення світлового приладу та лицевої поверхні бордюру, обереної до проїжджої частини, кут (3) нахилу поздовжньої осі по відношенні горизонталі, довжина кронштейна (4); відстань між опорою та краєм проїжджої частини чи тротуару, крок встановлення опор (відстань між опорами) .

Задля компенсації спаду в процесі експлуатації світлового потоку, який надходить на розрахункові поверхні, а отже і спаду рівнів освітленості чи яскравості в проєктуванні та розрахунку систем освітлення використовується коефіцієнт запасу. З даних табл. . 8.29 [2] чисельне значення коефіцієнта запасу виберемо як для світильників з натрієвими лампами високого тиску зі ступенем захисту від пилу та вологи не нижче IP53. Звідси $K_3 = 1,3$.

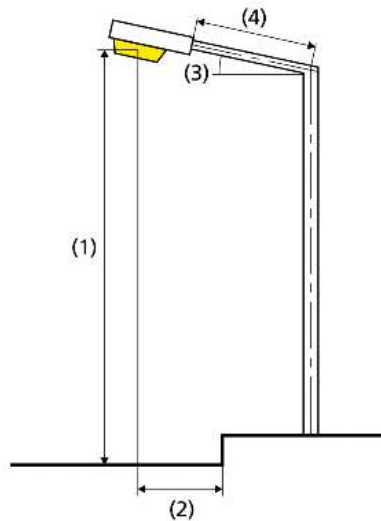


Рисунок 3.1 – Геометричне представлення розміщення світильників при виконанні світлотехнічного розрахунку в спеціалізованому програмному пакеті DIALux evo

При світлотехнічному розрахунку в пакеті DIALux evo (DIALux) використовується обернене значення коефіцієнта запасу MF – коефіцієнт експлуатації або технічного обслуговування (Maintenance Factor:

$$MF = \frac{1}{K_3} . \quad (3.1)$$

Після підстановки $K_3 = 1,3$ у формулу (3.1), отримаємо:

$$MF = \frac{1}{1,3} = 0,71.$$

3.1.2 Розрахунок системи освітлення частини І вулиці

Вихідні дані для розрахунку цієї частини вулиці наступні:

- висота точок розміщення світильників – 11,0 м;
- світловий звис – 0,5 м;
- кут нахилу світлових приладів – 0° ;
- відстань між опорами – 25 та 35 м (виконуємо розрахунок для максимальної та мінімальної відстаней).

Таблиця 3.1 – Результати світлотехнічного розрахунку системи освітлення частини I вулиці

| Найменування об'єкта розрахунку | Тип світлового приладу | Потужність, Вт | Світловий потік, лм | Відстань між опорами, м | Відстань між опорою та краєм проїжджі частини, м | Висота встановлення, м світильників, м | Кут нахилу світильника, ° | Нормовані значення світлотехнічних параметрів | | | | Розраховані значення світлотехнічних параметрів | | | | | | | | | |
|---------------------------------|------------------------|----------------|---------------------|-------------------------|--|--|---------------------------|---|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|-------------------|------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------|----------------|-------------------|
| | | | | | | | | Проїжджа частина | | | | Тротуар та зона паркування | | Проїжджа частина | | | | Зона паркування | | Тротуар | |
| | | | | | | | | $E_{сер}$, лк | $E_{max}/E_{сер}$ | I_{80° , кд/1000 лм | I_{80° , кд/1000 лм | $E_{сер}$, лк | $E_{max}/E_{сер}$ | $E_{сер}$, лк | $E_{max}/E_{сер}$ | I_{80° , кд/1000 лм | I_{80° , кд/1000 лм | $E_{сер}$, лк | $E_{max}/E_{сер}$ | $E_{сер}$, лк | $E_{max}/E_{сер}$ |
| Частина I вулиці | ДКУ41У-50-001У1 | 50 | 6250 | 25 | 1,5 | 11,0 | 0 | 0,30 | ≤3 | ≤30 | ≤30 | 4 | ≤5 | 10,3 | 1,17 | 27 | 2,32 | 7,48 | 1,18 | 4,64 | 1,25 |
| | | | | 35 | | | | | | | | | | 7,35 | 1,44 | 27 | 2,32 | 5,34 | 1,38 | 4,46 | 1,28 |

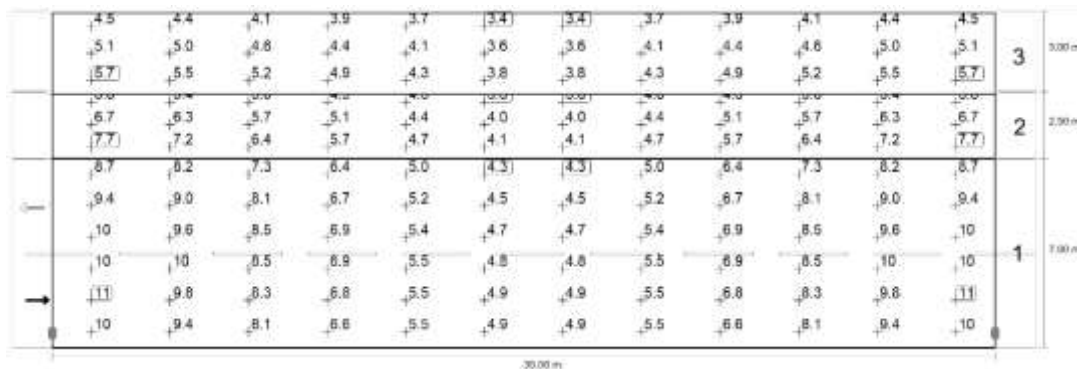


Рисунок 3.1 – Графік розподілу освітленості по поверхні проїжджої частини I (1), зони паркування (2) та тротуару (3) при освітленні світильниками ДКУ41У-50-001У1 з кроком між ними 35 м

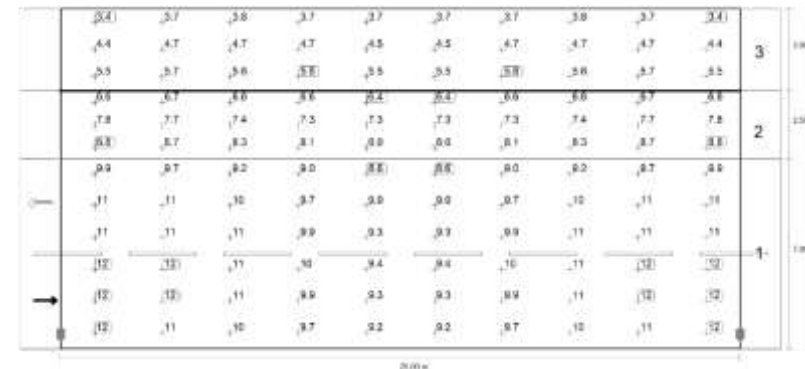


Рисунок 3.2 – Графік розподілу освітленості по поверхні проїжджої частини I (1), зони паркування (2) та тротуару (3) при освітленні світильниками ДКУ41У-50-001У1 з кроком між ними 25 м

Розрахунок виконаємо для освітлювальної системи, в якій використаємо світильники ДКУ41У-50-001 У1 потужністю 50 Вт та світловим потоком 6500 лм. Як видно із результатів, приведених табл. 3.1, така система освітлення здатна забезпечити виконання вимог по всіх нормованих світлотехнічних параметрах проїжджої частини, зони паркування та тротуару. Графіки розподілу освітленості по поверхні проїжджої частини, зони паркування та тротуару приведено на рис. 3.1 та 3.2

3.1.3 Розрахунок системи освітлення частини II вулиці

Оскільки, як було зазначено в проектно-конструкторському, в системі освітлення частини II вулиці є одностороннє та двостороннє розташування опор зі світловими приладами, то світлотехнічний розрахунок системи освітлення виконаємо для ділянок:

- від примикання вулиці Паркової до початку зони зупинки «Залізничний вокзал»;
- зона зупинки «Залізничний вокзал»;
- вздовж фрагменту з розмежуванням протилежних смуг руху.

Вихідні дані для розрахунку освітлення ділянки від примикання вулиці Паркової до початку зони зупинки «Залізничний вокзал»:

- висота точок розміщення світильників – 11,0 м;
- світловий звис – 0,5 м;
- кут нахилу світлових приладів – 0°;
- відстань між опорами – 25 м;
- розміщення світлових приладів – одностороннє.

Результати розрахунку приведено в табл. 3.2, а графік розподілу освітленості та яскравості по поверхні проїжджої частини та тротуару – на рис. 3.3., з яких видно, що така система освітлення здатна забезпечити виконання вимог щодо світлотехнічних параметрів.

Для світлотехнічного розрахунку системи освітлення частини II вулиці в зони зупинки «Залізничний вокзал» застосуємо наступні вихідні дані:

- висота точок розміщення світильників – 11,0 м;
- світловий звис – 0,5 м та -1 м;
- кут нахилу світлових приладів – 15°;
- відстань між опорами – 18 та 28 м;
- розміщення світлових приладів – двостороннє.

Результати розрахунку приведено в табл. 3.3, а графіки розподілу яскравості та освітленості – на рис. 3.4.

В системі освітлення частини II вулиці вздовж фрагменту з розмежуванням протилежних смуг руху застосовуються три ряди світильників, розміщені по обидва боки вулиці. Вихідні дані для розрахунку освітлення ділянки вздовж фрагменту розмежування протилежних смуг руху:

- висота точок розміщення світильників – 11,0 м;
- світловий звис – -5,5 м (ряд 1), 0,5 м (ряд 2), 0,5 м (ряд 3);
- кут нахилу світлових приладів – 0° (ряд 1), 15° (ряд 2); 0° (ряд 3);
- відстань між опорами – 45 м (ряд 1), 25 м (ряд 2), 45 м (ряд 3);
- розміщення світлових приладів – двостороннє: ряди 1 та 2 – з однієї сторони, ряд 3 – з іншої.

Результати розрахунку приведено в табл. 3.4, а графіки розподілу освітленості та яскравості по поверхні проїжджих частин та тротуарів – на рис. 3.5.

Як видно із приведених вище результатів світлотехнічного розрахунку, системи освітлення на основі світильників ДКУ41У-50-001 У1 зі світловим потоком 6250 лм здатні забезпечити виконання вимог щодо нормованих світлотехнічних параметрів усієї вулиці.

3.1.4 Розрахунок системи освітлення зупинок громадського транспорту

З метою виконання розрахунків системи освітлення зупинок громадського транспорту створено розрахункову тривимірну модель, приведену на рис. 3.6.

Таблиця 3.2 – Результати світлотехнічного розрахунку системи освітлення частини II вулиці на ділянці від примикання вулиці Паркової до зони зупинки «Залізничний вокзал»

| Найменування об'єкта розрахунку | Тип світлового приладу | Потужність, Вт | Світловий потік, лм | Відстань між опорами, м | Світловий звис, м | Висота встановлення, м світильників, м | Кут нахилу світильника, ° | Нормовані значення світлотехнічних параметрів | | | | | Розраховані значення світлотехнічних параметрів | | | | | | |
|--|------------------------|----------------|---------------------|-------------------------|-------------------|--|---------------------------|---|------------|------------|-----------|---------------|---|---------------------------------|-------|---------|----------|---------------|-------------------|
| | | | | | | | | Проїжджа частина | | | Тротуар | | Проїжджа частина | | | Тротуар | | | |
| | | | | | | | | $L_{сер},$ кд/м ² | U_0 | U_1 | $TI, \%$ | $E_{сер},$ лк | $E_{max}/E_{сер}$ | $L_{сер},$ кд/м ² | U_0 | U_1 | $TI, \%$ | $E_{сер},$ лк | $E_{max}/E_{сер}$ |
| Частина II вулиці на ділянці від примикання вулиці Паркової до зони зупинки «Залізничний вокзал» | ДКУ41У- 50-001 У1 | 50 | 6250 | 25 | 0,5 | 11,0 | 0 | 0,6 | $\geq 0,3$ | $\geq 0,4$ | ≤ 15 | 4 | ≤ 5 | 0,62 | 0,60 | 0,85 | 5 | 8,16 | 1,30 |

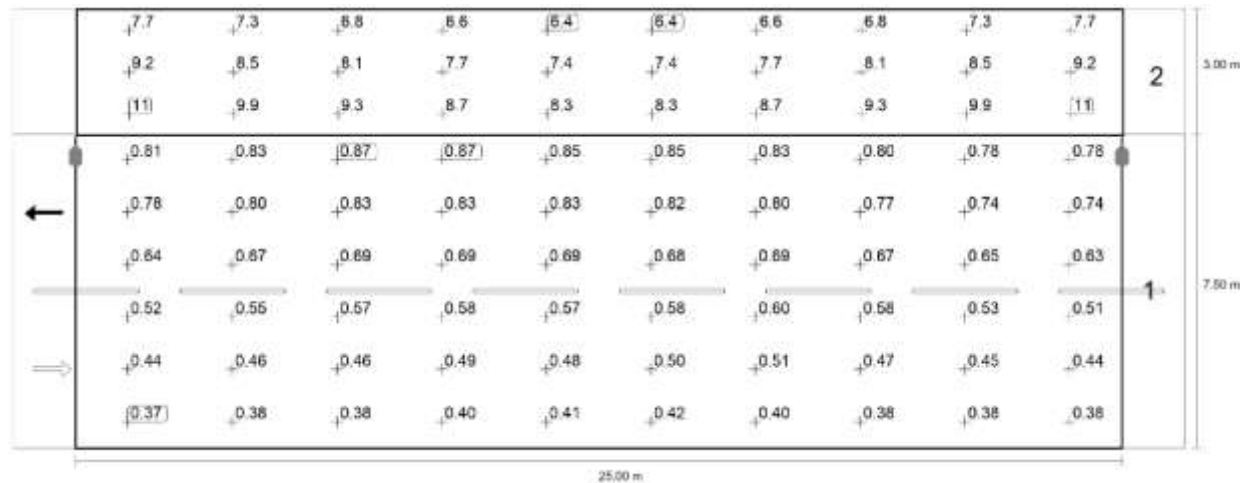
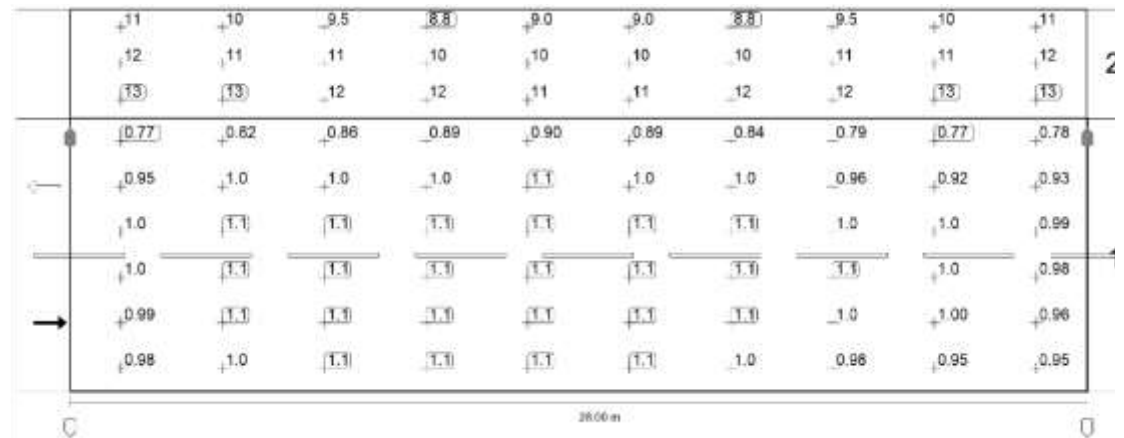
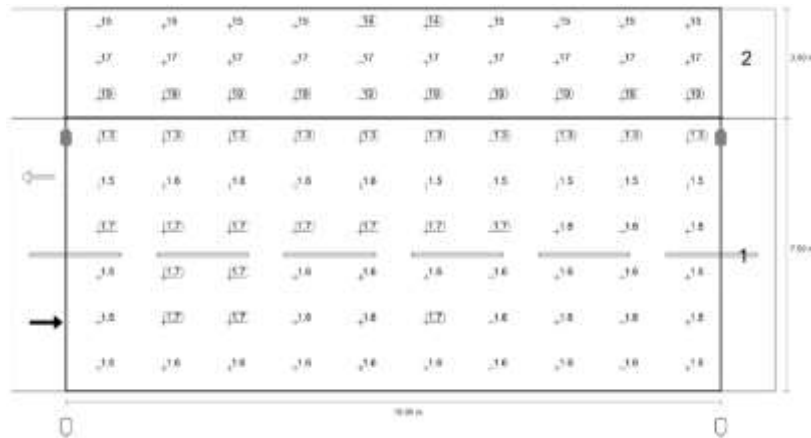


Рисунок 3.3 – Графіки розподілу яскравості по поверхні проїжджої частини (1) та освітленості по поверхні тротуару (2) системи освітлення частини II вулиці на ділянці від примикання вулиці Паркової до зони зупинки «Залізничний вокзал»

Таблиця 3.3 – Результати світлотехнічного розрахунку системи освітлення частини II на ділянці зони зупинки «Залізничний вокзал»

| Найменування об'єкта розрахунку | Тип світлового приладу | Потужність, Вт | Світловий потік, лм | Відстань між опорами, м | Світловий звис, м | Висота встановлення, м світильників, м | Кут нахилу світильника, ° | Нормовані значення світлотехнічних параметрів | | | | | Розраховані значення світлотехнічних параметрів | | | | | | |
|--|------------------------|----------------|---------------------|-------------------------|-------------------|--|---------------------------|---|------------|------------|-----------|---------------|---|------------------------------|-------|---------|-----------|---------------|-------------------|
| | | | | | | | | Проїжджа частина | | | Тротуар | | Проїжджа частина | | | Тротуар | | | |
| | | | | | | | | $L_{сер},$ кд/м ² | U_0 | U_1 | $\Pi, \%$ | $E_{сер},$ лк | $E_{max}/E_{сер}$ | $L_{сер},$ кд/м ² | U_0 | U_1 | $\Pi, \%$ | $E_{сер},$ лк | $E_{max}/E_{сер}$ |
| Частина II вулиці на ділянці зони зупинки «Залізничний вокзал» | ДКУ41У- 50-001 У1 | 50 | 6250 | 18 | 0,5; -1 | 11,0 | 15 | 0,6 | $\geq 0,3$ | $\geq 0,4$ | ≤ 15 | 4 | ≤ 5 | 1,56 | 0,81 | 0,96 | 5 | 16,9 | 1,13 |
| | | | | 28 | | | | | | | | | | 1,00 | 0,76 | 0,86 | 6 | 15,8 | 1,24 |



а)

б)

Рисунок 3.4 – Графіки розподілу яскравості по поверхні проїжджої частини (1) та освітленості по поверхні тротуару (2) системи освітлення частини II вулиці на ділянці зони зупинки «Залізничний вокзал», при кроку між опорами 18 м (а) та 28 м (б)

Таблиця 3.4 – Результати світлотехнічного розрахунку системи освітлення частини II вздовж фрагменту з розмежуванням протилежних смуг руху

| Найменування об'єкта розрахунку | Тип світлового приладу | Потужність, Вт | Світловий потік, ЛМ | Відстань між опорами, м | Світловий звис, м | Висота встановлення, світильників, м | Кути нахилу світильників, ° | Нормовані значення світлотехнічних параметрів | | | | | | Розраховані значення світлотехнічних параметрів | | | | | | | |
|--|------------------------|----------------|---------------------|--|--|--------------------------------------|----------------------------------|---|------------|------------|-----------|----------------------|-------------------|---|--------------------------|-------|----------|---------|-----------|----------------------|-------------------|
| | | | | | | | | Проїжджа частина | | | Трогуар | | | Проїжджа частина | | | Трогуари | | | | |
| | | | | | | | | $L_{сер}, \text{кд/м}^2$ | U_0 | U_1 | $П, \%$ | $E_{сер}, \text{лк}$ | $E_{max}/E_{сер}$ | № | $L_{сер}, \text{кд/м}^2$ | U_0 | U_1 | $П, \%$ | № | $E_{сер}, \text{лк}$ | $E_{max}/E_{сер}$ |
| Частина II вулиці вздовж фрагменту з розмежуванням протилежних смуг руху | ДКУ41У- 50-001 У1 | 50 | 6250 | 45 м (ряд 1), 25 м (ряд 2), 45 м (ряд 3) | -5,5 м (ряд 1), 0,5 м (ряд 2), 0,5 м (ряд 3) | 11,0 | 0 (ряд 1), 15 (ряд 2); 0 (ряд 3) | 0,6 | $\geq 0,3$ | $\geq 0,4$ | ≤ 15 | 4 | ≤ 5 | Смуга 1 | 1,15 | 0,84 | 0,86 | 6 | Трогуар 1 | 13,5 | 18,4 |
| | | | | | | | | | | | | | | Смуга 2 | 1,04 | 0,78 | 0,79 | 6 | Трогуар 2 | 15,8 | 1,24 |



Рисунок 3.5 – Графіки розподілу яскравості по поверхнях смуги 1 (См. 1), смуги 2 (См. 2) та освітленості на поверхні тротуару 1 (Тр. 1) та тротуару 2 (Тр. 2) від системи освітлення частини II вздовж фрагменту з розмежуванням протилежних смуг руху

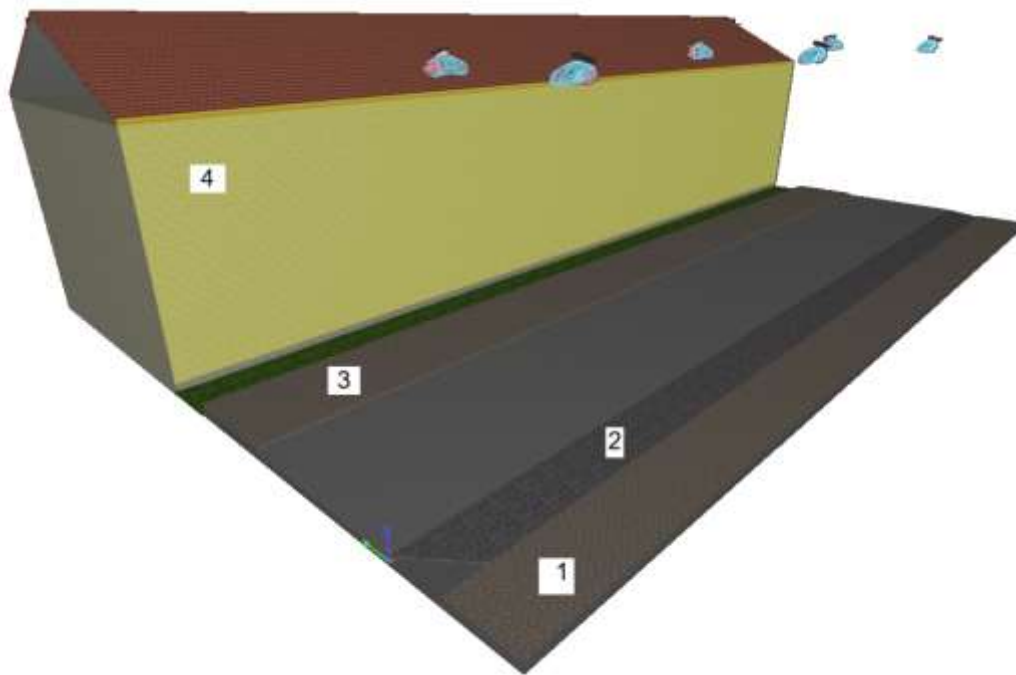


Рисунок 3.6 – Тривимірний модель для розрахунку системи освітлення зупинок громадського транспорту

В даній моделі передбачено розташування світлових приладів, аналогічне, як і при розрахунку в п.п. 3.1.2 цієї роботи, тобто світильники розташовуються двома рядами по обидві сторони вулиці, висота встановлення світильників – 11 м, кут нахилу 0° , світловий звис – 0,5 м (див. табл. 3.2).

В даній моделі передбачені такі розрахункові поверхні:

1 – поверхня на рівні покриття посадкового майданчику пасажирів громадського транспорту зупинки «Залізничний вокзал»;

2 – поверхня на рівні покриття заїзної кишені;

3 – поверхня на рівні покриття тротуару, який використовується як посадковий майданчик пасажирів приміських автобусів (в п. 1.3 аналітичного розділу зазначалось, що в даному місці облаштовано зупинку для автобусів приміського сполучення).

Результати розрахунку горизонтальної освітленості на вказаних розрахункових поверхнях приведені в табл. 3.6, з якої видно, що запропонована система освітлення здатна забезпечити виконання вимог щодо нормованих світлотехнічних параметрів, а отже необхідності у встановленні додаткових

світильників немає. Графіки розподілу горизонтальної освітленості по розрахункових поверхнях приведено на рис. 3.7.

Таблиця 3.6 – Результати розрахунку системи освітлення зупинок громадського транспорту

| Розрахункові поверхні | Світлотехнічні параметри | | | | | |
|-----------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------|
| | Нормативні | | Розраховані | | | |
| | $E_{\text{сер, ЛК}}$ | $E_{\text{max}}/ E_{\text{сер}}$ | $E_{\text{min, ЛК}}$ | $E_{\text{сер, ЛК}}$ | $E_{\text{max, ЛК}}$ | $E_{\text{max}}/ E_{\text{сер}}$ |
| 1 | 10 | ≤ 3 | 8,32 | 12,00 | 16,20 | 1,35 |
| 2 | | | 10,90 | 15,30 | 20,00 | 1,31 |
| 3 | | | 9,83 | 15,00 | 21,30 | 1,42 |

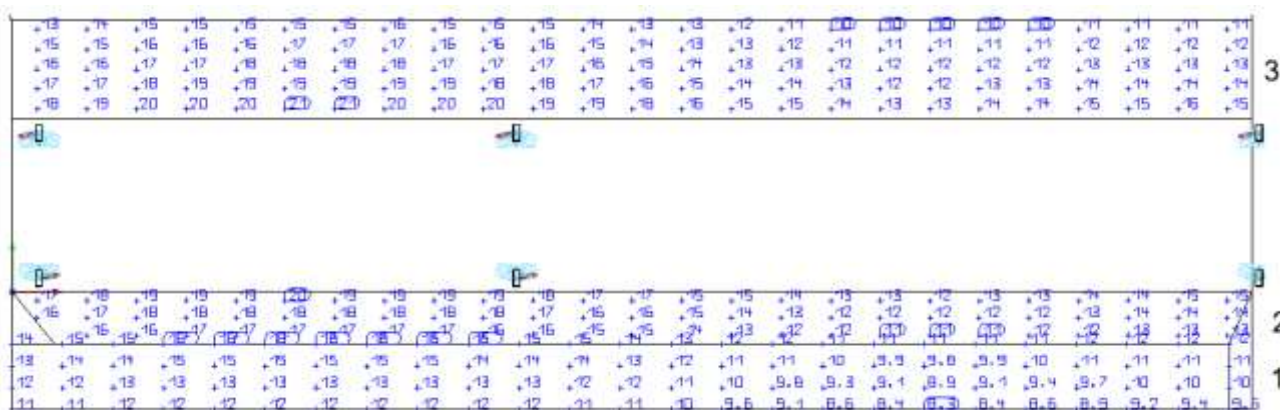


Рисунок 3.7 – Графіки розподілу горизонтальної освітленості:

1 – поверхня на рівні покриття посадкового майданчику пасажирів громадського транспорту зупинки «Залізничний вокзал»; 2 – поверхня на рівні покриття заїзної кишені; 3 – поверхня на рівні покриття тротуару, який використовується як посадковий майданчик пасажирів приміських автобусів

Відповідно до п. 8.5.37 [2] світильники зовнішнього освітлення усіх видів не повинні створювати на вікнах житлових будинків вертикальну освітленість, котра перевищує 10 лк при нормі середньої яскравості дорожнього покриття проїжджої частини 7 – 10 кд/м². Шляхом розрахунку виконаємо перевірку відповідності цій вимозі. Для цього на поверхні фасаду моделі будівлі створимо додаткову розрахункову поверхню 4 розмірами 47 м на 8 м для розрахунку саме вертикальної освітленості (див. рис. 3.6).

При розрахунку вертикальної освітленості на цій поверхні отримали:

- мінімальне значення – 1,18 лк;
- середнє значення – 5,15 лк;
- максимальне значення – 8,83.

А це означає, що система освітлення задовільняє вимогам п. 8.5.37 [2].

Графік розподілу вертикальної освітленості по розрахунковій поверхні приведено на рис. 3.8.



Рисунок 3.8 – Графік розподілу вертикальної освітленості по розрахунковій поверхні, розміщеній на стіні фасаду будівлі

3.2 Оцінка впровадження заходів з модернізації

3.2.1 Пряма заміна світильників на світлодіодні

Розрахунок рівня споживання W_{mod} модернізованою системою освітлення виконаємо, використовуючи формулу (2.1), проте замість потужності $P_n = 150$ Вт підставимо потужність одного світильника $P_{sv} = 50$ Вт, а коефіцієнт $K = 1$. Звідси, для січня місяця:

$$W_{mod} = 457,6 \cdot 0,05 \cdot 1 \cdot 41 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \approx 721 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Потенціал економії електричної енергії за рахунок модернізації системи освітлення прямою заміною світильників становить:

$$\Delta W = W - W_{mod} = 2295 - 721 = 1574 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Аналогічно виконуємо розрахунок і для інших місяців. Результати

розрахунку приведено на діаграмах, що на рис. 3.9.

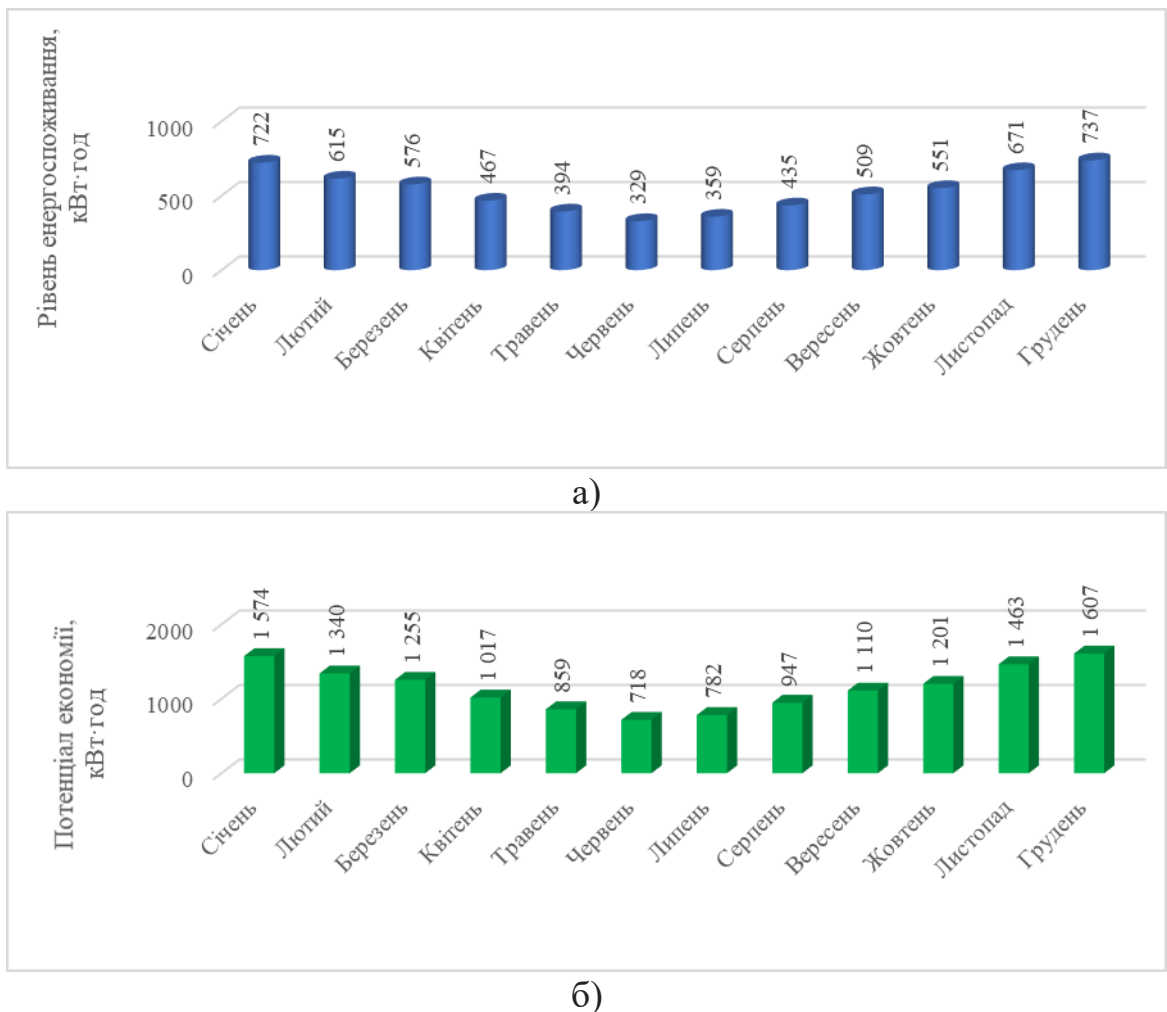


Рисунок 3.9 – Розрахунковий рівень споживання по місяцях електричної енергії (а) модернізованою системою освітлення та можливий потенціал економії (б) електричної енергії внаслідок заміни світильників

Сумарне розрахункове річне енергоспоживання модернізованою системою освітлення становитиме 6,364 тис. кВт·год, а потенціал економії електричної енергії протягом року – 13,874 тис. кВт·год, що становить 68,55 %.

3.2.2 Пряма заміна світильників на світлодіодні з функцією димінгу

Для виконання розрахунку побудуємо графіки залежностей споживаної потужності системою освітлення впродовж часу її роботи. Для цього розрахуємо споживану потужність P_{cn} системи освітлення вулиці для кожного рівня димінгу

за формулою:

$$P_{cn} = P_{ce} \cdot N \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_2 \cdot \sigma_3 \cdot k_{dim}, \quad (3.1)$$

де k_{dim} – коефіцієнт димінгу.

Розрахунок покажемо для графіка димінгу, зображеному на рис. 2.11 а (3 рівні димінгу).

Підставивши значення $k_{dim1} = 0,7$ для рівня 1, а також чисельні значення P_{ce} , N , та коефіцієнтів σ_1 , σ_2 , σ_3 у формулу (3.1), отримаємо:

$$P_{cn1} = 0,05 \cdot 41 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \cdot 0,7 = 1,10 \text{ кВт.}$$

Для рівня димінгу 2 $k_{dim2} = 1,0$:

$$P_{cn2} = 0,05 \cdot 41 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \cdot 1,0 = 1,58 \text{ кВт.}$$

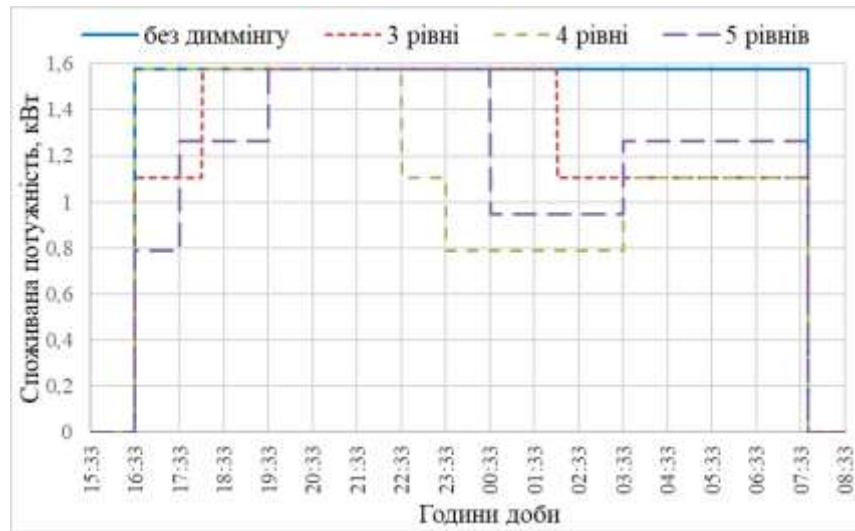
Для рівня димінгу 3 $k_{dim3} = k_{dim1} = 0,7$, звідси $P_{cn3} = P_{cn1} = 1,10$ кВт.

Аналогічно розраховуємо споживану потужність для системи освітлення, яка працює відповідно до решти графіків димінгу. Результати розрахунку приведено в табл. 3.7.

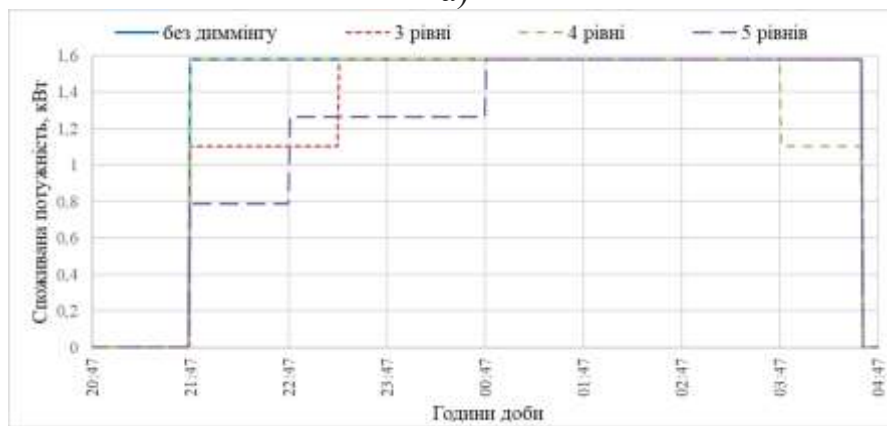
Таблиця 3.7 – Результати розрахунку споживаної потужності для різних графіків димінгу

| Кількість рівнів димінгу | Рівні димінгу | | | | |
|--------------------------|---------------------------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | Споживана потужність, кВт | | | | |
| 3 | 1,10 | 1,58 | 1,10 | | |
| 4 | 1,58 | 1,10 | 0,79 | 1,10 | |
| 5 | 0,79 | 1,26 | 1,58 | 0,95 | 1,26 |

Для подальшого розрахунку енергоспоживання системою освітлення вулиці впродовж доби побудуємо графіки залежностей розрахункової споживаної потужності від конкретного часу доби. Графіки покажемо для днів з найбільшою та найменшою тривалістю роботи систем освітлення, а саме для 22 грудня (рис. 3.9 а) та 22 червня (рис. 3.9 б).



а)



б)

Рисунок 3.9 – Залежності споживаної потужності впродовж доби 22 грудня (а) та 22 червня (б) при різних графіках диммінгу

Енергоспоживання системою освітлення протягом доби визначимо за формулою:

$$W_{доб} = \sum_{i=1}^{i=n} P_{cni} \cdot T_i, \quad (3.2)$$

де n – кількість рівнів диммінгу;

P_{cni} – споживана потужність системи освітлення при i -му рівні диммінгу;

T_i – тривалість роботи системи освітлення при i -му рівні диммінгу, який визначимо з графіків, приведених на рис. 3.9.

Для графіків, приведених на рис. 3.9 а:

- при трирівневому диммінгу:

$$W_{\text{доб}_{-3\text{p}}}^{22.12} = 1,10 \cdot 1,5 + 1,58 \cdot 9 + 1,10 \cdot 4,67 = 21,01 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

- при чотирирівневому диммінгу:

$$W_{\text{доб}_{-4\text{p}}}^{22.12} = 1,58 \cdot 6 + 1,10 \cdot 1 + 0,79 \cdot 4 + 1,10 \cdot 4,17 = 18,33 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

- при п'ятирівневому диммінгу:

$$W_{\text{доб}_{-5\text{p}}}^{22.12} = 0,79 \cdot 1 + 1,26 \cdot 2 + 1,58 \cdot 5 + 0,95 \cdot 3 + 1,26 \cdot 4,17 = 19,30 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Для графіків, приведених на рис. 3.9 б:

- при трирівневому диммінгу:

$$W_{\text{доб}_{-3\text{p}}}^{22.06} = 1,10 \cdot 1,5 + 1,58 \cdot 5,33 + 1,10 \cdot 0 = 10,07 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

- при чотирирівневому диммінгу:

$$W_{\text{доб}_{-4\text{p}}}^{22.06} = 1,58 \cdot 6 + 1,10 \cdot 0,83 + 0,79 \cdot 0 + 1,10 \cdot 0 = 10,39 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

- при п'ятирівневому диммінгу:

$$W_{\text{доб}_{-5\text{p}}}^{22.06} = 0,79 \cdot 1 + 1,26 \cdot 2 + 1,58 \cdot 3,83 + 0,95 \cdot 0 + 1,26 \cdot 0 = 9,36 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Потенціал економії електричної енергії за одну добу розрахуємо за формулою:

$$\Delta W_{\text{доб}} = W_{\text{доб}} - W_{\text{доб}_{\text{dim}}}, \quad (3.3)$$

де $W_{\text{доб}}$ – розрахункове енергоспоживання діючою системою освітлення впродовж доби, яке визначається формулою (2.1).

Для 22 грудня:

$$W^{22.12} = 15,17 \cdot 0,15 \cdot 1,06 \cdot 41 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,95 = 72,08 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

Для 22 червня

$$W^{22.06} = 6,83 \cdot 0,15 \cdot 1,06 \cdot 41 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,95 = 32,47 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

Підставляючи значення для $W_{\text{доб}}$ та $W_{\text{доб_dim}}$ у формулу (3.3), отримаємо:

для 22 грудня

- при трирівневому диммінгу:

$$\Delta W_{\text{доб_3p}}^{22.12} = 72,08 - 21,01 = 51,07 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

- при чотирирівневому диммінгу:

$$\Delta W_{\text{доб_4p}}^{22.12} = 72,08 - 18,33 = 53,75 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

- при п'ятирівневому диммінгу:

$$\Delta W_{\text{доб_5p}}^{22.12} = 72,08 - 19,30 = 52,78 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Для 22 червня:

- при трирівневому диммінгу:

$$\Delta W_{\text{доб_3p}}^{22.06} = 32,47 - 10,07 = 22,4 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

- при чотирирівневому диммінгу:

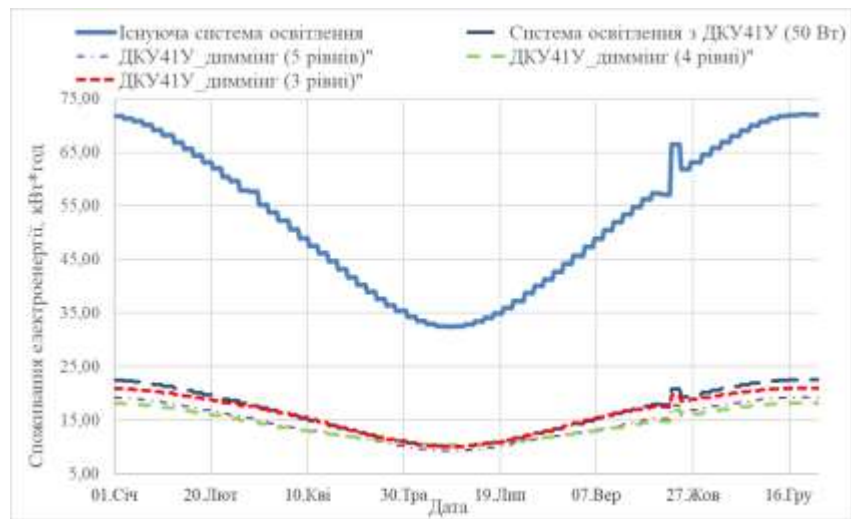
$$\Delta W_{\text{доб_4p}}^{22.06} = 32,47 - 10,39 = 22,08 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

- при п'ятирівневому диммінгу:

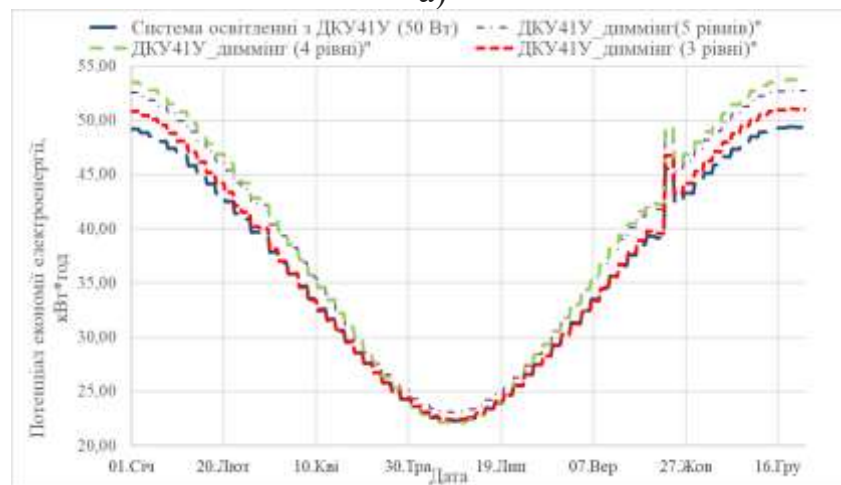
$$W_{\text{доб_5p}}^{22.06} = 32,47 - 9,36 = 23,11 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Аналогічно розраховуємо рівень енергоспоживання та потенціалу економії електричної енергії і для решти діб. Результати розрахунку приведено у вигляді графіків, представлених на рис. 3.10.

Результати розрахунку сумарного енергоспоживання системами освітлення протягом року та потенціалу економії електричної енергії приведено в табл. 3.8, з якої видно, що найбільшої економії електричної енергії (74,21 %) можна досягти за рахунок прямої заміни на світильники ДКУ41У з функцією чотирирівневого диммінгу.



а)



б)

Рисунок 3.10 – Добове енергоспоживання модернізованими системами освітлення (а) та потенціал економії електроенергії при впровадженні заходів з модернізації

Таблиця 3.8 – Результати розрахунку річного енергоспоживання системами освітлення та потенціалу економії внаслідок модернізації

| Показники | Системи освітлення | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|--------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| | Діюча | ДКУ41У | ДКУ41У з диммінгом (3 рівні) | ДКУ41У з диммінгом (4 рівні) | ДКУ41У з диммінгом (5 рівнів) |
| Рівень енергоспоживання, тис. кВт·год | 20,238 | 6,364 | 5,896 | 5,219 | 5,307 |
| Потенціал економії, тис. кВт·год | | 13,874 | 14,342 | 15,019 | 14,931 |
| Потенціал економії, % | | 68,55 | 70,87 | 74,21 | 73,78 |

3.2.3 Розрахунок терміну окупності заходів модернізації

Виконаємо розрахунок простого терміну окупності $T_{ок}$, використовуючи формулу:

$$T_{ок} = \frac{K}{E} \quad (3.4)$$

де K – капітальні затрати на закупівлю обладнання (світильників), які визначаються за формулою:

$$K = N \cdot B_{1св} \quad (3.5)$$

де $B_{1св}$ – вартість закупівлі одного світильника.

Вартість світильників ДКУ41У (з ПДВ) становить:

- $B_{1св} = 11994,97$ грн/шт - для світильників без функції диммінгу;

- $B_{1св} = 14993,71$ грн/шт - для світильників, в яких підтримується функція

диммінгу.

Підставивши $N = 41$ та чисельні значення ватростей у формулу (3.5), отримаємо:

- для світильників без диммінгу: $K = 41 \cdot 11994,97 = 491,794$ тис. грн;

- для світильників з диммінгом: $K = 41 \cdot 14993,71 = 614,742$ тис. грн.

Економію E за рахунок модернізації системи освітлення шляхом прямої заміни світлових приладів розрахуємо за формулою [3]:

$$E = B_{еісн} + B_{злісн} - B_{еємод}, \quad (3.6)$$

де $B_{еісн}$, $B_{еємод}$ – вартість електричної енергії, яка споживається відповідно існуючою та модернізованими системами освітлення;

$B_{злісн}$ – вартість заміни ламп в існуючій системі.

Вартість електричної енергії розрахуємо з використанням формули:

$$B_{еє} = C_{еє} \cdot W. \quad (3.7)$$

де C_{ee} – тариф за споживання електричної енергії, котрий для КП «Тернопільміськвітло» становить 11,69 грн/(кВт·год) [3].

Для існуючої системи освітлення: $W_{існ} = 20,238$ тис. кВт·год. Звідси:

$$B_{ee_існ} = 11,69 \cdot 20,238 = 236,582 \text{ тис. грн.}$$

Для модернізованих систем: $W_{мод} = 6,364$ тис. кВт·год, $W_{мод_дін} = 5,219$ тис. кВт·год. Звідси

$$B_{ee_мод} = 11,69 \cdot 6,364 = 74,395 \text{ тис. грн,}$$

$$B_{ee_мод} = 11,69 \cdot 5,219 = 61,010 \text{ тис. грн.}$$

Вартість заміни ламп визначимо, використовуючи формули:

$$B_{злісн} = N \cdot n \cdot m \cdot B_{з1л}, \quad (3.8)$$

$$m = \frac{T}{T_{сл.}}, \quad (3.9)$$

$$B_{з1л} = B_{new} + B_{ut}, \quad (3.10)$$

Де $n = 1$ – кількість ламп в одному світильнику;

m – кількість необхідних замін ламп за один рік;

$B_{з1л}$ – вартість заміни однієї лампи;

$T = 4034,2$ год – тривалість роботи системи освітлення за один рік;

$T_{сл.} = 20000$ год – термін служби натрієвих ламп високого тисук при експлуатації їх в системах вуличного освітлення;

$B_{new} = 250$ грн – вартість на придбання однієї лампи ДНаТ-150;

$B_{ut} = 30$ грн – вартість на утилізацію однієї відпрацьованої лампи ДНаТ-150.

Підставляючи чисельні значення у формули (3.8) – (3.10), одержимо:

$$B_{з1л} = 250 + 30 = 280 \text{ грн,}$$

$$m = \frac{4034,2}{20000} = 0,202,$$

$$B_{\text{злісн}} = 41 \cdot 1 \cdot 0,202 \cdot 280 = 2,319 \text{ тис. грн.}$$

Підставивши чисельні значення вартостей у формулу (3.6), одержимо:

- для модернізації на основі використання світильників ДКУ41У без функції диммінгу:

$$E = 236,582 + 2,319 - 74,395 = 164,506 \text{ тис. грн.}$$

- для модернізації на основі використання світильників ДКУ41У з функцією диммінгу:

$$E = 236,582 + 2,319 - 61,010 = 177,891 \text{ тис. грн.}$$

Підставивши чисельні значення економії та вартості закупівлі світильників у формулу (3.4), отримаємо:

- для модернізації на основі використання світильників ДКУ41У без функції диммінгу:

$$T_{\text{ок}} = \frac{491,794}{164,506} \approx 3 \text{ р.};$$

- для модернізації на основі використання світильників ДКУ41У з функцією диммінгу:

$$T_{\text{ок}} = \frac{614,742}{177,891} \approx 3,5 \text{ р.};$$

3.3 Висновки до розділу

1. На підставі світлотехнічного розрахунку визначено потужність світлових приладів в модернізованій системі освітлення.

2. Для забезпечення нормованих рівнів яскравості та освітленості на

поверхнях проїжджих частин, тротуарів, посадкових майданчиків зупинок громадського транспорту необхідно застосувати світильники ДКУ41У-50-001 У1 зі світловим потоком 6250 лм.

3. Встановлено, що запропонована система освітлення не створює засліплення мешканців будинків, які знаходяться поруч, а максимальна вертикальна освітленість становить на поверхні фасадів поруч розташованих будівель дорівнює 8,83 лк.

4. Виконано розрахунок енергоспоживання модернізованими системами освітлення, а також потенціалу їх економії. В результаті розрахунку встановлено, що пряма заміна світлових приладів дозволяє знизити рівень розрахункового річного енергоспоживання системи освітлення вулиці знизився на 13,874 тис. кВт·год (68,55 %), а при використанні світильників із 4-рівневим диммінгом – на 15,019 кВт·год (74,21 %). Терміни окупності запропонованих заходів модернізації становлять відповідно 3 та 3,5 роки.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Значення та основні задачі штучного зовнішнього освітлення

Зоровий аналізатор людини (очі) сприймає електромагнітні випромінювання в діапазоні довжин хвиль 0,38 – 0,76 мкм, як видиме світло. Кванти світла, володіючи великою енергією, впливають на структуру і метаболізм клітин і тканин живих організмів: стимулюють дихання, кровообіг, діяльність залоз внутрішньої секреції і процеси росту, синтез вітаміну D і деяких гормонів (серотоніну – «гормону радості»), засвоєння кальцію, фосфору та інших мінеральних елементів. Найбільша чутливість зору проявляється в жовто-зеленій частині спектру (0,55 – 0,58 мкм); довгі червоні промені (0,76 мкм) збуджують нервову систему; більш короткі сині, зелені промені діють заспокійливо. Достатнє освітлення забезпечує безпеку, високу якість і продуктивність праці, яка зростає на 15 – 18%.

Основними задачами, які повинні виконуватись в результаті реалізації проекту є:

- забезпечення видимості перешкод і відповідно безпеки пересування. Ясна видимість будь-якої потенційної перешкоди в навколишньому просторі дозволяє уникнути травм: сходи, пандуси і тому подібні споруди повинні бути ясно видні;

- створення умов, які допомагають зорієнтуватися на місцевості. Освітлення виявляє характерні структури як частини населеного пункту, так і населеного пункту в цілому. Воно поліпшує зорову орієнтацію, дозволяючи краще запам'ятовувати як сам об'єкт, так і місце його розташування;

- забезпечення своєрідності. Кожен освітлюваний об'єкт має свій власний індивідуальний вигляд або характер. Освітлення може сприяти виявленню і навіть посиленню цього образу, підкреслюючи певні риси (наприклад, стильові особливості або деталі архітектури) або виділяючи привабливі природні елементи;

- створення приємної атмосфери. Наше сприйняття нічного міста дуже залежить від того, як воно освітлене. Освітлення нічного міста може викликати почуття привітності, теплоти, простору.

Основними умовами, які висуваються при експлуатації установок вуличного і паркового освітлення є:

- необхідність частотої та регулярної чистки світлових приладів;
- розміщення світлових приладів на покрівлях, фасадах, опорах та інших інженерних конструкціях, доступ до яких є затрудненим;
- підвищення вимог до культури обслуговування та експлуатації установок зовнішнього освітлення.

4.2 Ураження людини електричним струмом: фактори

Фактори, які впливають на наслідки ураження електричним струмом можна розділити на електричні, неелектричні та фактори навколишнього середовища.

До електричних факторів відносяться: сила струму, частота, опір тіла людини.

Зі зростанням сили струму небезпека ураження ним тіла людини зростає. Розрізняють порогові значення струму (при частоті 50 Гц):

- пороговий відчутний струм – 0,5 – 1,5 мА при змінному струмі і 5 – 7 мА при постійному струмі;
- пороговий невідпускний струм (струм, що викликає при проходженні через тіло людини нездоланні судомні скорочення м'язів руки, в котрій затиснений провідник) – 10 – 15 мА при змінному струмі 50 – 80 мА при постійному струмі;
- пороговий фібриляційний струм (струм, що викликає при проходженні через організм фібриляцію серця) 100 мА при змінному струмі і 300 мА при постійному струмі.

Наявність в опорі тіла людини ємнісної складової при зростанні частоти

прикладеної напруги супроводжується зменшенням повного опору тіла та зростанням струму, що проходить через тіло людини. Найнебезпечнішим для людини є діапазон частот до 50 Гц. Подальше збільшення частоти, супроводжується зниженням небезпеки ураження, котра повністю зникає при частоті 450 – 500 Гц, тобто струм такої та більшої частоти не може викликати смертельного ураження внаслідок припинення роботи життєво важливих органів. Однак струми такої частоти зберігають небезпеку опіків при виникненні електричної дуги та при проходженні їх безпосередньо через тіло людини. Значення фібриляційного струму при частотах 50 – 100 Гц практично однакові; при частоті 200 Гц фібриляційний струм зростає приблизно в два рази в порівнянні з його значенням при 50 – 100 Гц, а при частоті 400 Гц – більше, ніж в 3 рази.

Постійний струм є приблизно в 4 – 5 разів безпечнішим, ніж змінний струм частотою 50 Гц. Проходячи через тіло людини, постійний струм, викликає слабші скорочення м'язів і менш неприємні відчуття порівняно зі змінним того ж значення. Лише в момент замикання і розмикання ланки струму людина відчуває короточасні болісні відчуття внаслідок судомного скорочення м'язів. Порівняльна оцінка постійного та змінного струмів справедлива лише для напруг до 500 В. Вважається, що при більш високих напругах постійний струм стає небезпечнішим, ніж змінний частотою 50 Гц.

Електричний опір тіла людини – це опір струму, котрий проходить по ділянці тіла між двома електродами, прикладеними до поверхні тіла. Він складається з опору тонких зовнішніх шарів шкіри, котрі контактують з електродами, і з опору внутрішніх тканин тіла. Найбільший опір струму чинить шкіра. На місці контакту електродів з тілом утворюється своєрідний конденсатор, однією обкладкою котрого є електрод, другою – внутрішні струмопровідні тканини, а діелектриком – зовнішній шар шкіри. Електричні властивості конденсатора характеризуються напругою, на котру він розрахований, та його ємністю. Таким чином, опір тіла людини складається з ємнісного та активного опорів. Величина електричного опору тіла залежить від

стану рогового шару шкіри, наявності на її поверхні вологи та забруднень, від місця прикладання електродів, частоти струму, величини напруги, тривалості дії струму. Ушкодження рогового шару (порізи, подряпини, волога, потовиділення) зменшують опір тіла, а отже збільшують небезпеку ураження. В практичних розрахунках опір тіла людини приймається таким, що дорівнює 1000 Ом.

До неелектричних факторів, котрі впливають на наслідки ураження електричним струмом відносяться: тривалість проходження струму та шлях його протікання, індивідуальні особливості людини.

Із зростанням тривалості дії струму зростає ймовірність важкого або смертельного наслідку. Така залежність пояснюється тим, що зі зростанням часу впливу струму на живу тканину підвищується його значення, накопичуються наслідки впливу струму на організм. Зростає також імовірність співпадання моменту проходження струму через серце з уразливою фазою серцевого циклу (кардіоциклу). Зростання сили струму зі зростанням часу його дії пояснюється зниженням опору тіла людини внаслідок місцевого нагрівання шкіри та подразнювальної дії на тканини. Це викликає рефлекторну, тобто через центральну нервову систему, швидку зворотну реакцію організму у вигляді розширення судин шкіри, а відтак – посилення постачання її кров'ю і підвищення потовиділення, що й призводить до зниження електричного опору шкіри в цьому місці.

Практика та експерименти показують, що шлях протікання струму через тіло людини має велике значення з огляду на наслідки ураження. Якщо на шляху струму виявляються життєво важливі органи – серце, легені, головний мозок, то небезпека ураження досить велика, оскільки струм безпосередньо впливає на ці органи. Якщо ж струм проходить іншими шляхами, то його вплив на життєво важливі органи може бути лише рефлекторним, а не безпосереднім. При цьому, хоч небезпека важкого ураження і зберігається, але ймовірність його знижується. До того ж, оскільки шлях струму визначається місцем прикладання струмопровідних частин (електродів) до тіла потерпілого, то його вплив на наслідок ураження зумовлюється ще й різним опором шкіри на різних ділянках шкіри.

Найбільш поширеними напрямками проходження струму через організм

людини є: рука – рука (частка потерпілих, які втрачали свідомість становить 83 %), права рука – ноги (87 %), ліва рука – ноги (80 %), нога – нога (15 %), голова – ноги (88 %), голова – руки (92 %).

Відомо, що здорові та фізично міцні люди легше переносять електричні удари, ніж хворі та слабкі. Особливо сприйнятливими до електричного струму є особи, котрі нездужають на захворювання шкіри, серцево-судинної системи, органів внутрішньої секреції, легенів, мають нервові хвороби. Важливе значення має психічна підготовленість до можливої небезпеки ураження струмом. В переважній більшості випадків несподіваний електричний удар навіть за низької напруги призводить до важких наслідків. Проте за умови, коли людина очікує удару, то ступінь ураження значно знижується. Тому великого значення набувають ступінь уваги, зосередженість людини на виконуваний роботі, втома.

До факторів навколишнього середовища відносяться: температура, тиск, вологість повітря в приміщенні. Зі збільшенням температури і вологості зменшується загальний опір тіла людини, а зі збільшенням атмосферного тиску небезпека ураження зменшується.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Розглянуто принципи зовнішнього освітлення міст. Визначено, що проєктування систем зовнішнього освітлення (вуличного, ландшафтного чи архітектурного) повинно базуватися на принципах раціонального використання світлотехнічних засобів, гармонійному поєднанні різних видів освітлення та врахуванні архітектурних особливостей міста.

2. Проаналізовано нормативні світлотехнічні вимоги, котрі висуваються до систем вуличного освітлення. Встановлено, середня яскравість поверхні покриття проїжджої частини для вулиць та доріг категорій А, Б та В що є основним кількісним регламентованим параметром систем освітлення. Якісними показниками є пороговий приріст яскравості та показник засліплення.

3. Наведено основні відомості про об'єкт проєктування, на основі яких визначено мету та завдання в роботі.

4. На основі обстеження систем освітлення мікрорайонів встановлено, що в діючій системі освітлення використовуються 41 світильник типу ЖКУ з лампами ДНаТ-150. Розрахунковий річний рівень енергоспоживання системою освітлення вулиці становить 20,238 тис. кВт·год при сумарній тривалості роботи зовнішнього освітлення протягом року 4034,2 год.

5. В якості заходів модернізації системи освітлення вулиці вибрано пряму заміну світлових приладів із газорозрядними лампами на світлодіодні світильники типу ДКУ41У з модифікаціями, які підтримують функцію диммінгу.

6. Вибрано нормовані світлотехнічні параметри систем освітлення. Для проїжджої частини вулиці, покриття якої є бруківка в якості основного нормованого світлотехнічного параметру регламентується середня освітленість на рівні 6 лк. Для проїжджих частин з асфальтно-бетонним покриттям – середня яскравість на рівні 0,6 кд/м². Нормовані значення середньої горизонтальної освітленості на поверхні тротуарів та зупинок становлять відповідно 4 та 10 лк.

7. На підставі світлотехнічного розрахунку визначено потужність світлових приладів в модернізованій системі освітлення. Для забезпечення

нормованих рівнів яскравості та освітленості на поверхнях проїжджих частин, тротуарів, посадкових майданчиків зупинок громадського транспорту необхідно застосувати світильники ДКУ41У-50-001 У1 зі світловим потоком 6250 лм. Встановлено, що запропонована система освітлення не створює засліплення мешканців будинків, які знаходяться поруч, а максимальна вертикальна освітленість становить на поверхні фасадів поруч розташованих будівель дорівнює 8,83 лк.

8. Виконано розрахунок енергоспоживання модернізованими системами освітлення, а також потенціалу їх економії. В результаті розрахунку встановлено, що пряма заміна світлових приладів дозволяє знизити рівень розрахункового річного енергоспоживання системи освітлення вулиці знизився на 13,874 тис. кВт·год (68,55 %), а при використанні світильників із 4-рівневим диммінгом – на 15,019 кВт·год (74,21 %). Терміни окупності запропонованих заходів модернізації становлять відповідно 3 та 3,5 роки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Назаренко Л. А. Штучне зовнішнє освітлення: навч. посібник / Л. А. Назаренко, К. І. Іоффе ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 88 с.
2. ДБН В.2.5 – 28 – 2018. Природне і штучне освітлення [чинний від 2019-03-01] / М-во регіон. розвитку, буд. та житл.-комун. госп-ва України. - Чинний від 01.03.2019. - К: Мінрегіон, 2022. - 133 с.
3. Войціх А. М., Грухін М. В. Модернізація систем вуличного освітлення мікрорайонів Кутківці та Пронятин м. Тернополя (комплексна робота): робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра : спец. 141 - електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / наук. кер. Я. М. Осадца. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025. 104 с.
4. Картографічні дані © 2025, АТ «Візіком» URL: <https://maps.visicom.ua/c/25.60138,49.55496,16?lang=uk/> (дата звернення: 08.06.2024).
5. Споживачі електричної енергії. Електричне освітлення : навч. посіб. / О. І. Соловей, А. В. Чернявський, О. О. Ситник, В. Ф. Ткаченко, Г. В. Курбака ; за ред. Солов'я О. І. ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ФОП Гордієнко Є.І., 2018. – 132 с.
6. Осадца Я. М. Аналіз споживання електричної енергії системами зовнішнього освітлення м. Тернополя / Ярослав Михайлович Осадца, Р. Б. Кріль, І. Р. Козак // Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції „Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи“, 29-31 травня 2024 року. — Т. : ТНТУ, 2024. — С. 18. — (Пленарні доповіді).
7. Курс лекцій з дисципліни “Світлотехнічні установки та системи” для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Уклад.: Я.М. Осадца. – Тернопіль: ТНТУ 2020 – 146 с.

8. Андрійчук, В. , Наконечний, М. , Осадца, Я. і Філюк, Я. 2020. ДОСЛІДЖЕННЯ СВІТЛОДІОДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА У ВИПАДКУ ІМПУЛЬСНОГО ЖИВЛЕННЯ. *ТЕХНІЧНА ЕЛЕКТРОДИНАМІКА*. 1 (Січ 2020), 068. DOI:<https://doi.org/10.15407/techned2021.01.068>.
9. Dynamic Light: Handbook about Interpretation of EN 13201 URL: <https://programme2014-20.interreg-central.eu/Content.Node/Dynamic-Light/04-DL-Handbook-about-interpretation-of-EN-13201.pdf> (дата звернення: 28.05.2026).
10. Салтиков В.О. Освітлення міст: Навчальний посібник. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 221 с.
11. ДКУ41У URL: https://vatra.ua/download/PDF_VATRA/street/VATRA-UKR_DKU41U.pdf/ (дата звернення: 25.05.2026).
12. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з курсу «Світлотехнічні установки та системи» для здобувачів першого рівня вищої освіти за ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальностей 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка та G3 Електрична інженерія / Уклад.: к.т.н., доцент Ярослав ОСАДЦА – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2026. – 46 с.
13. Войціх А. М. Аналіз способів підвищення енергоефективності систем вуличного освітлення / А. М. Войціх, М. В. Грухін, Ярослав Михайлович Осадца // Матеріали МНТК „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“, 28-29 травня 2025 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2025. — С. 18–19. — (Фізико-технічні основи розвитку нових технологій. Електротехніка та енергозбереження).
14. Осадца Я.М. Курс лекцій з дисципліни “Світлотехнічні установки та системи” для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопіль: ТНТУ, 2020. 144 с.
15. Тарасенко М.Г., Коваль В.П., Буняк О.А., Мовчан Л.Т. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 50 с.