

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: Модернізація систем освітлення вулиць Соломії Крушельницької
та Замкова у м. Тернопіль

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

Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

	<u>Кобильник В.Я.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Осадца Я.М.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Коваль В.П.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Коваль В.П.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u>Шовкун О.П.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«10» квітня 2025 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 Кобильнику Василю Ярославовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація систем освітлення вулиць Соломії Крушельницької та Замкова у м. Тернопіль

Керівник роботи Осадца Ярослав Михайлович, к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «08» квітня 2025 року № 4/7-275

2. Термін подання студентом завершеної роботи 13.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Відомості про системи зовнішнього освітлення м. Тернополя, Державні будівельні норми, Характеристики світлових приладів

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

ВСТУП

АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ: нормативні вимоги до систем зовнішнього освітлення; аналіз видів систем зовнішнього освітлення

ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ: обстеження систем освітлення вулиць Соломії Крушельницької, Замкова, Михайла Грушевського; вибір світлових приладів; розрахунок електричних освітлювальних мереж

РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ: Моделювання та світлотехнічний розрахунок систем освітлення; оцінка заходів з модернізації

БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ: значення та основні задачі зовнішнього освітлення; фактори впливу електричного струму при ураженні ним людини.

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.; Діючі системи освітлення вулиць – 3 арк.; Характеристики світлових приладів – 1 арк.; Світлотехнічний розрахунок систем освітлення вулиці Соломі Крушельницької – 2 арк.; Світлотехнічний розрахунок систем освітлення вулиці Замкова – 1 арк.; Світлотехнічний розрахунок систем освітлення перехрестя та частини вулиці Михайла Грушевського – 1 арк.; Світлотехнічний розрахунок систем освітлення зупинки громадського транспорту та пішохідних переходів – 1 арк.; Розрахунок електричних освітлювальних мереж – 1 арк.; Результати оцінки заходів з модернізації систем освітлення – 1 арк.; Загальні висновки до кваліфікаційної роботи – 1 арк.

6. Консультанти розділів роботи

[illegible]

7. Дата видачі завдання 10 квітня 2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Кобильник Василь Ярославович

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Осадца Ярослав Михайлович

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТз – 41. - Т.: ТНТУ, 2025.

Стор. 70; рис. 36; табл. 14; креслень (сторінок презентації) – 14; використаних джерел – 12, сторінок додатків – 0.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: «Модернізація систем освітлення вулиць Соломії Крушельницької та Замкова у м. Тернопіль».

Метою роботи є розробка технічних рішень щодо модернізації систем освітлення вулиць центральної частини м. Тернопіль з метою зниження їх споживаної потужності.

На підставі моделювання та світлотехнічного, а також електротехнічного розрахунків запропоновано шляхи модернізації систем освітлення проїзних частин, пішохідних зон, зупинок громадського транспорту деяких центральних вулиць м. Тернопіль.

Ключові слова:

ЯСКРАВІСТЬ ПОКРИТТЯ, СВІТИЛЬНИК, СВІТЛОВИЙ ПОТІК, ОСВІТЛЕНІСТЬ, ВТРАТА НАПРУГИ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Нормативні параметри зовнішнього освітлення населених пунктів	8
1.2 Аналіз систем вуличного освітлення	11
1.3 Відомості про об'єкти проектування	13
1.3.1 Вулиця Соломії Крушельницької	13
1.3.2 Вулиця Замкова	15
1.4. Висновки до розділу	17
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	18
2.1 Обстеження існуючих систем освітлення вулиць	18
2.1.1 Вулиця Соломії Крушельницької	19
2.1.2 Вулиця Замкова	21
2.1.3 Системи освітлення перехресть	23
2.2 Аналіз результатів обстеження та заходи з модернізації систем освітлення вулиць	26
2.3 Вибір нормованих світлотехнічних параметрів систем вуличного освітлення об'єктів проектування	28
2.4 Вибір світлових приладів	30
2.5 Проектування електричних освітлювальних мереж	32
2.5.1 Вулиця Соломії Крушельницької	32
2.5.2 Вулиця Замкова	35
2.6 Висновки до розділу	36
3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	38
3.1 Моделювання та світлотехнічний розрахунок систем освітлення вулиць	38
3.1.1 Розрахунок систем освітлення вулиці Соломії Крушельницької	38

3.1.2 Розрахунок систем освітлення вулиці Замкова	44
3.1.3 Перехрестя вулиць Соломії Крушельницької, Білецької та Михайла Грушевського	50
3.1.4 Зупинка громадського транспорту та пішохідні переходи	53
3.2 Оцінка заходів із модернізації систем освітлення	56
3.2.1 Вулиця Соломії Крушельницької	57
3.2.2 Вулиця Замкова	58
3.2.3 Перехрестя вулиць Соломії Крушельницької, Білецької та Михайла Грушевського	59
3.3 Висновки до розділу	60
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	62
4.1 Значення та основні задачі штучного освітлення	62
4.2 Фактори впливу електричного струму при ураженні ним людини	63
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	67
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	69

ВСТУП

Сучасне міське освітлення відіграє вирішальну роль у благоустрої та безпеці. Воно не тільки забезпечує комфортний рух транспорту та пішоходів, але й суттєво зменшує аварійність на дорогах у темний час доби. Доведено, що якісне освітлення здатне підвищити продуктивність зору учасників дорожнього руху та може знизити кількість ДТП на 30%.

Крім того, грамотно спроектовані системи освітлення мають низку додаткових переваг, котрі полягають у:

- зниженні енергоспоживання (що є критично важливим в умовах дефіциту електроенергії);

- покращенні екологічної ситуації за рахунок зменшення викидів та нагріву атмосфери;

- підвищенні рівня туристичної привабливості населеного пункту;

- зниженні рівня злочинності.

На даний час світлотехнічна галузь знаходить активний свій розвиток в напрямку енергоефективності та екологічності, що виражається в масовому переході на світлодіодні джерела світла. Проте, у значній частці (42 %) систем зовнішнього освітлення м. Тернополя досі застосовуються світлові прилади на розрядних джерелах світла. Це зумовлює нагальну потребу в модернізації освітлювальних систем міста.

Дана робота присвячена розробці технічних рішень для модернізації та оновлення систем вуличного освітлення вулиць центральної частини міста, зокрема вул. Соломії Крушельницької, замкова та Михайла Грушевського. Метою модернізації є зниження споживаної потужності системами освітлення цих вулиць із забезпеченням виконання нормативних світлотехнічних вимог. Завдання даної роботи полягають у:

- обстеженні існуючих систем освітлення;

- виборі нормативних світлотехнічних параметрів;

- обґрунтованому виборі сучасних світильників на напівпровідникових

джерела світла.

- моделюванні та світлотехнічному розрахунку запропонованих систем освітлення;

- проектуванні електричних освітлювальних мереж;

- оцінці запропонованих заходів із модернізації.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Нормативні параметри зовнішнього освітлення населених пунктів

При нормуванні систем зовнішнього освітлення основна задача в полягає в регламентації значень рівня яскравості або освітленості дорожнього покриття залежно від інтенсивності руху транспортних засобів. На основі результатів встановлюються:

- допустимі чисельні значення коефіцієнтів нерівномірності розподілу яскравості по освітлювальних поверхнях як в поздовжньому, так й в поперечному напрямках;

- допустимі значення параметрів засліплення світними поверхнями світильниками зовнішнього освітлення.

В Україні нормативні вимоги щодо світлотехнічних параметрів систем зовнішнього освітлення населених пунктів приведені в ДБН В.2.5 – 28 – 2018. Природне і штучне освітлення [2]. Відповідно до табл. 8.27 цих норм основною регламентованою характеристикою для міських вулиць і доріг з асфальтобетонним покриттям є яскравість дорожнього покриття. Значення цієї яскравості вибираються в залежності від максимальної інтенсивності руху транспорту, категорії та підкласу об'єкта за освітленням.

Річна середньодобова інтенсивність $N_{\text{доб}}$ руху транспорту розраховується за формулою (додаток К, стор. 109 [2]):

$$N_{\text{доб}} = \frac{100 \cdot N_{\text{роз}} \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4}{K_1}, \quad (1.1)$$

де $N_{\text{роз}}$ – розрахункова інтенсивність руху транспорту, яка встановлюється спостереженням у перерізі магістралі;

K_1 – коефіцієнт нерівномірності руху відповідно до годин доби;

K_2 – коефіцієнт нерівномірності руху відповідно до днів тижня;

K_3 – коефіцієнт нерівномірності руху відповідно до місяців року;

K_4 – коефіцієнт, який враховує частку об'єму руху транспорту у нічні години (від 24.00 до 06.00).

Для магістральних доріг, магістральних вулиць загальноміського значення (категорія А об'єкта за освітленням) середня яскравість покриття повинна становити від не менше від 0,6 кд/м² (для підкласу об'єкта А5 та найбільшої інтенсивності руху менше 500 фіз. од./год) до 2,0 кд/м² (для підкласу об'єкта А1 та найбільшої інтенсивності руху понад 5000 фіз. од./год). Для магістральних вулиць районного значення (категорія Б об'єкта за освітленням) чисельне значення середньої яскравості покриття не має бути нижчим від 0,4 кд/м² (для підкласу об'єкта Б4 та найбільшої інтенсивності руху менше 500 фіз. од./год) до 1,0 кд/м² (для підкласу об'єкта Б1 за найбільшої інтенсивності руху понад 2000 фіз. од./год). Для вулиць і доріг місцевого значення (категорія В об'єкта за освітленням) середня яскравість повинна становити не менше 0,3 кд/м² для підкласу В2 за найбільшої інтенсивності руху менше 500 фіз. од./год та не менше 0,4 кд/м² для підкласу В1 за найбільшої інтенсивності руху 500 фіз. од./год та вище.

Що ж до тротуарів, які примикають до проїзних частин вулиць, доріг та площ, то їх середня яскравість повинна становити не менше, ніж 50 % яскравості проїзної частини.

Окрім цього, у вимогах, наведених у [2] регламентується також рівномірність розподілу яскравості, котра визначається за наступними чисельними відношеннями:

- мінімальної яскравості покриття до середньої;
- мінімальної яскравості покриття до максимальної.

Відношення мінімальної яскравості покриття до середньої має становити не менше:

- 0,4 при нормованому значенні середньої яскравості понад 0,6 кд/м²;
- 0,3 при нормованому значенні середньої яскравості, що не перевищує 0,6 кд/м².

Відношення мінімальної яскравості до максимальної по смузі руху має становити не менше:

- 0,6 при нормованому значенні середньої яскравості понад 0,6 кд/м²;
- 0,4 при нормованому значенні середньої яскравості, що не перевищує 0,6 кд/м².

Для міських доріг із безперервним рухом, незалежно від інтенсивності, приймають значення середньої яскравості на рівні 2,0 кд/м².

Для перехресть нормована середня яскравість повинна дорівнювати нормованій середній яскравості магістралей, які утворюють перехрестя, а для з'їздів та відгалужень середня яскравість (освітленість) повинна становити не менше, ніж 0,8 кд/м² (10 лк).

Для наземних пішохідних переходів регламентованою нормованою світлотехнічною характеристикою є середня та мінімальна горизонтальна освітленість, чисельна значення якої відповідно становлять:

- для комерційних та промислових зон – 30 та 15 лк;
- для житлових зон – 20 та 6 лк.

Середня освітленість площадок зупинок громадського транспорту на вулицях всіх категорій повинна становити не менше 10 лк.

Якщо в якості регламентованої нормованої характеристики використовується яскравість, то регламентованою якісною характеристикою є показник засліпленості P , котрий можна розрахувати за формулою:

$$P = 100 \cdot (S - 1), \quad (1.2)$$

де S – коефіцієнт засліпленості, чисельне значення якого можна визначити відношенням різниць порогових яскравостей при наявному та відсутньому джерел засліплення в полі зору.

Максимальне допустиме значення P становить 150.

Для ділянок доріг та вулиць, де регламентованим параметром є освітленість, необхідним є обмеження максимального чисельного значення сили

світла по відношенню до лінії зору водія транспортного засобу. Тому значення сили світла не має перевищувати

- 30 кд на 1000 лм при куті 80° відносно вертикалі;
- 10 кд на 1000 лм – при куті 90° відносно вертикалі.

Висота монтажу вуличних світильників відносно рівня поверхні покриття визначається, виходячи із максимального значення порогового приросту яскравості TI , котрий розраховується за формулою:

$$TI = \frac{k \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \frac{E_{vi}}{\theta_i^2}}{L_{сер}^{1,05}}, \quad (1.3)$$

де k – коефіцієнт, значення якого відповідно становить 950 та 650 при $L_{сер} > 5 \text{ кд/м}^2$ та $L_{сер} \leq 5 \text{ кд/м}^2$;

n – число світлових приладів, котрі потрапляють у поле зору водія в діапазоні зміни значень кута θ_i від 2° до 20° ;

E_{vi} – вертикальна освітленість, що створюється на органі зору водія i -м світильником;

θ_i – кут між напрямком i -го світильника та лінією зору;

$L_{сер}$ – значення середньої яскравості дорожнього покриття.

1.2 Аналіз систем вуличного освітлення

У випадку прямолінійних ділянок вулиць та доріг використовуються системи загального рівномірного освітлення [3 – 5] (рис. 1.1 [6]). Задля доведення до рівня нормованих значень світлотехнічних характеристик на перехрестях, примиканнях та розгалуженнях в системи загального рівномірного освітлення основних ділянок встановлюються додаткові світлові прилади (рис. 1.2 [7]).

Відповідно до [4] базовою ознакою класифікації систем зовнішнього

освітлення є висота монтажу світлових приладів над рівнями поверхонь дорожніх покриттів. За цією ознакою розрізняють наступні системи освітлення:

- звичайна, при якій висота монтажу вуличних світильників шляхом встановлення на опору або підвіс становить 6 ... 15 м;
- проміжна, при якій висота монтажу світильників становить в межах 20 м;
- високощоголова, при якій монтаж світлових приладів виконується на опорах з діапазоном висот 30 ... 50 м;
- парапетна – світлові прилади монтуються на парапетах мостів;
- настінна – розташування світлових приладів передбачається на стінах або дахах будівель.



Рисунок 1.1 – Система загального рівномірного освітлення на прикладі вулиці Тиражна, що у м. Запоріжжя

В освітленні вулиць, доріг промислових територій застосовується звичайна система. Проміжна система застосовується для освітлення автострад, а використання такої системи дозволяє підвищувати рівномірність розподілу яскравості (освітленості) та зменшувати кількість опор.

Для освітлення застосовується звичайна система освітлення.

Для освітлення автострад застосовується в основному проміжна система освітлення, використання якої дозволяє покращити характеристики щодо рівномірності завдяки збільшенню висоти опор та зменшити їх кількість.

Високощоголова система рекомендується для використання у випадках

освітлення складного транспортного перетину, котрий має декілька рівнів (рис. 1.2 [7]). Окрім цього, така система знайшла своє застосування в системах освітлення стоянок або великих площ виробничих територій.



Рисунок 1.2 – Розташування опор на одній із транспортних розв’язок траси Н-08 Бориспіль-Дніпро-Запоріжжя

В установках парапетної системи освітлення світлові прилади монтуються в лінію у конструкції огороження доріг чи пішохідних шляхів. Зазвичай висота встановлення світильників становить близько 1 м. Такий тип встановлення світлових приладів застосовується в системах цього типу освітлення окремих ділянок складних транспортних перетинів, мостів, вузьких проїздів, а також складних закруглень, особливо на гірських дорогах у гірській місцевості.

1.3 Відомості про об’єкти проєктування

1.3.1 Вулиця Соломії Крушельницької

Вулиця Соломії Крушельницької є однією з магістральних вулиць м. Тернополя і знаходиться на межі середмістя та мікрорайону Новий Світ. Розміщення вулиці Соломії Крушельницької на мапі Тернополя показано на рис. 1.3 [7]. Вулиця простягається від кільцевого перехрестя 1 із вулицями Богдана Хмельницького, Родини Барвінських та проїзду під двоарковим мостом до перехрестя 2 у вигляді розвилки з вулицями Білецька 3 та Михайла

Грушевського 4.

До вулиці Соломії Крушельницької примикає вулиця Олени Теліги 4, а вулиця Юліана Опільського 5 перетинає її. Окрім цього до даної вулиці примикає заїзд 7 до будинків.



Рисунок 1.3 – Положення вулиці Соломії Крушельницької на мапі Тернополя

Проїжджа частина вулиці має дві смуги, позначені I та II, розділені зоною із зеленими насадженнями. Кожна смуга має по два ряди руху для автомобілів. Ширина кожної смуги становить 7,5 м, а ширина кожного ряду – 3,75 м.

Кількість пішохідних переходів вулиці Соломії Крушельницької становить 4. Вони розміщені:

п1 – біля перехрестя 2;

п2, п3 – по обидві сторони від примикання вулиці Юліана Опільського;

п4 – по одну сторону від примикання вулиці Олени Теліги.

На вулиці розміщується однойменна зупинка громадського транспорту.

Від проїжджих частин відділені пішохідні зони (тротуари), зокрема від проїжджої частини I:

- від перехрестя 1 до примикання із вулицею Олени Теліги; ширина тротуару становить 2,5 м;

- від примикання із вулицею Олени Теліги до перетину із вулицею Юліана Опільського; ширина тротуару становить 1,5 або 2,0 м;

- від перетину із вулицею Юліана Опільського до розвільного перехрестя; ширина тротуару становить 1,5 або 2,0 м.

Від проїжджої частини II:

- від заїзду в двір Тернопільської ОВА до перетину із вулицею Юліана Опільського; ширина тротуару становить 2,0 м.

1.3.2 Вулиця Замкова

Вулиця Замкова знаходиться в центральній частині міста і простягається із перехрестям із вулицею Михайла Грушевського 1 до примикання із вулицею Руська 2 (рис. 1.4. [7]). До вулиці примикає пішохідна зона 3, котра веде до Тернопільського замку та вулиця Старий Ринок 4, а також проїжджі зони Майдану Волі.



Рисунок 1.4 – Положення вулиці Замкової на мапі Тернополя

Проїжджа частина вулиці має дві смуги руху. Кількість рядів у смугах становить:

- від перехрестя із вулицею Грушевського до примикань із проїжджою частиною Майдану Волі та пішохідними зонами, які ведуть до Тернопільського

замку (зона руху І) – два ряди в напрямку примикання та 1 ряд в напрямку перехрестя. Один із рядів в напрямку примикання використовується, як зона паркування. Ширина кожного ряду становить 3,5 м;

- від примикань із проїжджою частиною Майдану Волі та пішохідними зонами, які ведуть до Тернопільського замку (зона руху ІІ) – два ряди в напрямку до примикання із вулицею Руська та один ряд від згаданого примикання; ширина однієї смуги – 3,5 м.

Вздовж вулиці знаходиться одна зупинка громадського транспорту – «Готель Тернопіль».

Кількість пішохідних переходів по вулиці становить 4. Їх розміщення:

- п1 – перехрестя із вулицею Михайла Грушевського;
- п2 – примикання із проїжджою частиною Майдану Волі та пішохідними зонами, які ведуть до Тернопільського замку;
- п3 – зупинка «Готель Тернопіль»;
- п4 – примикання до вулиці Руська;
- п5 – примикання проїжджої частини Майдану Волі та вулиці Старий Ринок.

Зони пішохідів (тротуари) розміщені наступним чином:

- від перехрестя із вулицею Михайла Грушевського до примикання із проїжджою частиною Майдану Волі та пішохідними зонами, які ведуть до Тернопільського замку (зона руху І) – по обидві сторони від проїжджої частини; ширина тротуару до примикання становить 2,5 м, до перехрестя – 2,0 м;

- від примикання із проїжджою частиною Майдану Волі та пішохідними зонами, які ведуть до Тернопільського замку до зони зупинки «Готель Тернопіль» та від зупинки «Готель Тернопіль» до примикання проїжджої частини Майдану Волі та вулиці Старий Ринок – однієї сторони; ширина тротуару – 2,0 м;

- від примикання до проїжджої частини Майдану Волі та вулиці Старий Ринок до примикання до вулиці Руська (зона руху ІІ) – по обидві сторони від проїжджої частини, ширина смуг тротуару становить 3,5 м.

1.4. Висновки до розділу

1. Виконано аналіз основних нормативних світлотехнічних вимог до систем вуличного освітлення. Встановлено, що кількісним регламентованим параметром систем освітлення проїжджої частини вулиць є середня яскравість поверхні дорожнього покриття. Якісними показниками виступають показник засліплення та пороговий приріст яскравості.

2. Розглянуто системи вуличного освітлення та їх класифікацію в залежності від висоти та способу монтажу світлових приладів. Встановлено, що для прямолінійних ділянок доріг рекомендується застосовувати систему загального рівномірного освітлення.

3. Наведено основні відомості про об'єкти проектування, а саме вулиці Соломії Крушельницької та Замкова у м. Тернопіль. Метою даної роботи є розроблення технічних рішень щодо модернізації систем освітлення об'єктів проектування. Для досягнення цієї мети в роботі необхідно виконати наступне:

- обстеження систем освітлення вулиць;
- вибір чисельних значень нормованих світлотехнічних параметрів;
- моделювання та світлотехнічний розрахунок систем освітлення проїжджих частин, пішохідних зон (тротуарів) та зупинок громадського транспорту;
- розрахунок кількості споживання електроенергії запропонованими системами освітлення.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Обстеження існуючих систем освітлення вулиць

В системах вуличного освітлення м. Тернополя застосовуються світлові прилади з розрядними та напівпровідниковими джерелами світла. Крім цього в електричних освітлювальних мережах можуть застосовуватись як самонесучі ізолювані, так і неізолювані проводи. Окрім цього прокладання електричних освітлювальних мереж може бути як в повітрі, так і в землі. Умовний поділ на типи вулиць по встановлених світлових приладах та електричних освітлювальних мережах приведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Типи вулиць по встановлених системах освітлення та електричних освітлювальних мережах

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

2.1.1 Вулиця Соломії Крушельницької

В системі освітлення проїжджих частин та тротуарів вулиці Соломії Крушельницької застосовуються світлові прилади як з розрядними, так і з напівпровідниковими джерелами світла.

Для освітлення смуги руху І (див. рис. 1.3) світильники типу ЖКУ з потужністю лампи 150 Вт, розміщені на опорах типу СК 120-10 (рис. 2.1). Висота встановлення світильників – 12,0 м, кількість опор – 20. Відстань між опорами становить 29 ... 35 м. Для живлення світлових приладів застосовуються самонесучі ізольовані проводи. Тобто по системі освітлення смуги руху І можна віднести до 1-го типу, відповідно до табл. 2.1.



Рисунок 2.1 – Освітлення смуги руху автотранспорту І вулиці Соломії Крушельницької

У відповідності до улаштування системи освітлення смуги руху транспортних засобів II (див. рис. 1.3) можна умовно розділити на дві частини:

II.1 – від розвилки із вулицями Білецька та Михайла Грушевського до перехрестя із вулицею Юліана Опільського;

II.2 – від перехрестя із вулицею Юліана Опільського до кільцевого перехрестя із вулицями Богдана Хмельницького, Родини Барвінських та проїзду під двоарковим мостом.

Для освітлення частини руху транспортних засобів II.1 та суміжного з нею

тротуару застосовуються 8 освітлювальних комплексів (рис. 2.2) із 4 світильниками плафонного типу з різьбовим цоколем. В якості джерел світла застосовуються світлодіодні лампи потужністю 10 Вт кожна. Живлення освітлювальних комплексів виконується кабельною лінією, прокладеною під землею.



Рисунок 2.2 – Освітлювальні комплекси для освітлення частини II.1 смуги руху транспортних засобів II вулиці Соломії Крушельницької

Для частини II.2, аналогічно, як і смуги руху I, застосовується 1-й тип системи освітлення з аналогічною висотою встановлення світлових приладів. Кількість опор – 9. Відстань між опорами – 20 ... 27 м.

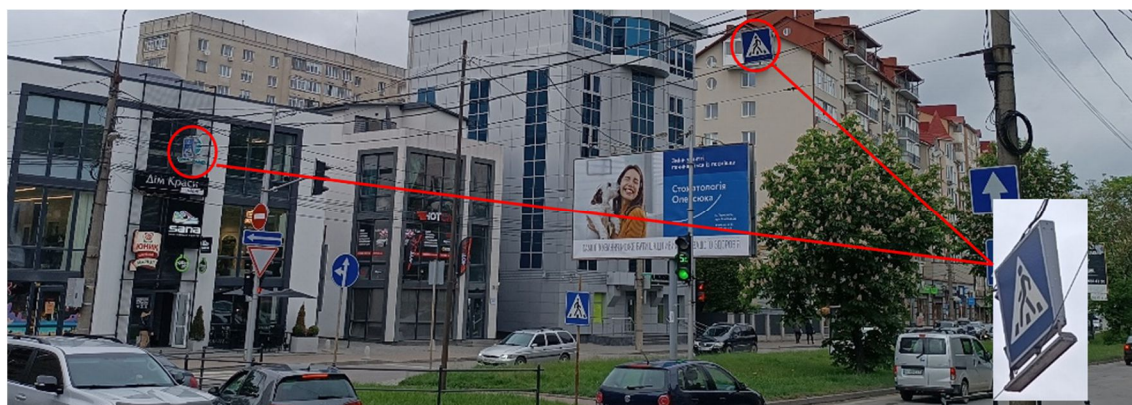
В системах освітлення пішохідних переходів п1 – п4 (див. рис. 1.3) використовуються напівпровідникові світлові прилади, змонтовані на підвіс посередині частин руху транспортних засобі I та II (рис. 2.3, 2.4).



Рисунок 2.3 – Розміщення світлових приладів для освітлення пішохідного переходу п1 вулиці Соломії Крушельницької



п2



п3



п4

Рисунок 2.4 – Розміщення світлових приладів для освітлення пішохідних переходів п2 – п4 вулиці Соломії Крушельницької

Додаткове освітлення пішохідних зон (тротуарів) та зупинок громадського транспорту не встановлено.

2.1.2 Вулиця Замкова

Для освітлення проїжджої частини та пішохідних зон вулиці Замкова

застосовується переважно система освітлення 4-го типу (рис. 2.5). В якості світлових приладів застосовуються підвісні світильники з газорозрядними лампами (типу ДНаТ) потужністю 150 Вт. Кількість світильників становить:

- для освітлення ділянки від примикання проїжджої частини Майдану Волі та вулиці Старий Ринок до примикання до вулиці Руська (зона руху II) (рис. 2.5 а) – 6 (висота встановлення світильників – 9 м, відстань між світильниками – 20 ... 26 м).

- від перехрестя із вулицею Грушевського до примикань із проїжджою частиною Майдану Волі та пішохідними зонами, які ведуть до Тернопільського замку (зона руху II), (рис. 2.5 б) – 10 (висота встановлення світильників – 9 м, відстань між світильниками – 20 ... 26 м).



а)



б)

Рисунок 2.5 – Розміщення підвісних світильників в системі освітлення вулиці Замкової

Для освітлення проїжджої частини від перехрестя із вулицею Грушевського до примикань із проїжджою частиною Майдану Волі та пішохідними зонами, які ведуть до Тернопільського замку до примикання проїжджої частини Майдану Волі та вулиці Старий Ринок застосовуються система типу 7 (див. табл. 2.1). Зокрема застосовуються світлові прилади із напівпровідниковими джерелами світла (рис. 2.6). Потужність світлових приладів – 172 Вт. Кількість – 4. Висота

встановлення – 12 м.

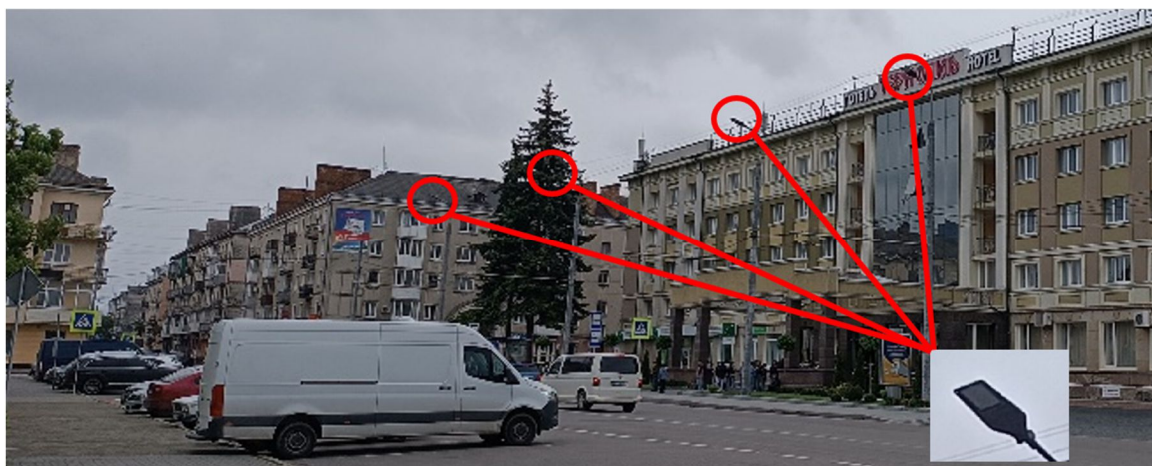


Рисунок 2.6 – Розміщення світильників в системі освітлення проїжджої частини вулиці Замкової на ділянці від перехрестя із вулицею Грушевського до примикань із проїжджою частиною Майдану Волі та пішохідними зонами, які ведуть до Тернопільського замку до примикання проїжджої частини Майдану Волі та вулиці Старий Ринок

Додаткових світлових приладів для освітлення пішохідних зон (тротуарів) та зупинки громадського транспорту на даній вулиці не встановлено. Для освітлення пішохідних переходів п2, п4 та п5 (див. рис. 1.4) застосовуються світлові прилади із напівпровідниковими джерелами світла, розміщені на додаткових опорах (рис. 2.7). Висота встановлення світлових приладів становить 5 м. Додаткових світлових приладів для освітлення пішохідних переходів п1 та п3 не встановлено.

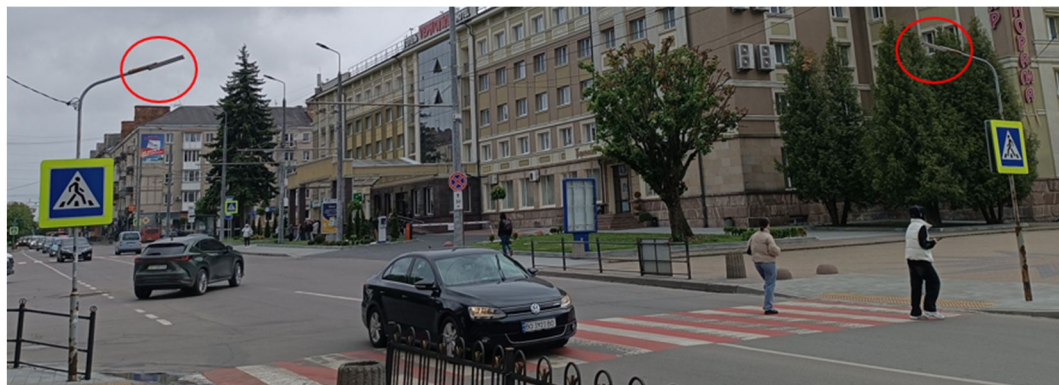
2.1.3 Системи освітлення перехресть

В роботі розглянемо системи освітлення наступних перехресть:

- кільцеве перехрестя 1 (див. рис. 1.3) вулиць Соломії Крушельницької, Богдана Хмельницького, Родини Барвінських та проїзду під двоарковим мостом;



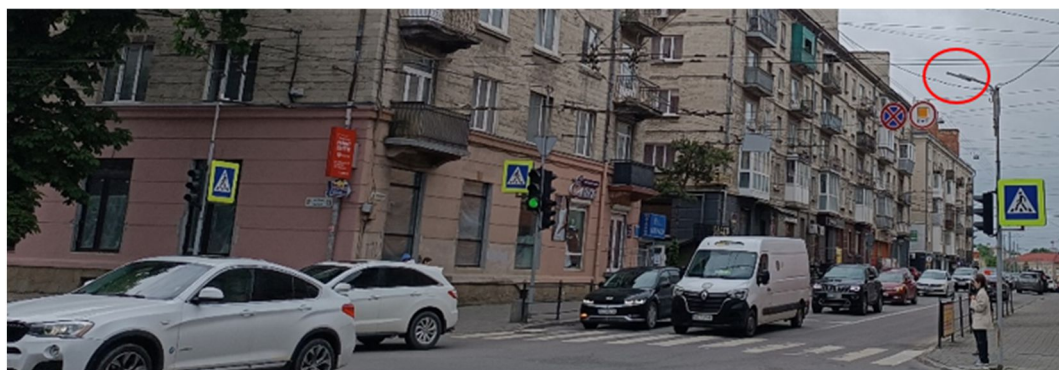
п1



п2



п3



п4



п5

Рисунок 2.7 – Розміщення світлових приладів для освітлення пішохідних переходів через проїжджу частину вулиці Замкова

- перехрестя 2 (див. рис. 1.3) у вигляді розвилки вулиць Соломії Крушельницької, Білецька 3 та Михайла Грушевського 4.

Для освітлення кільцевого перехрестя вулиць Соломії Крушельницької, Богдана Хмельницького, Родини Барвінських та проїзду під двоарковим мостом застосовується система типу 7 (див. табл. 2.1), котра складається із 5 напівпровідникових світлових приладів, розміщених на одній опорі (рис. 2.8). Потужність 1 світильника становить 100 Вт. Висота встановлення світильників – 12 м.

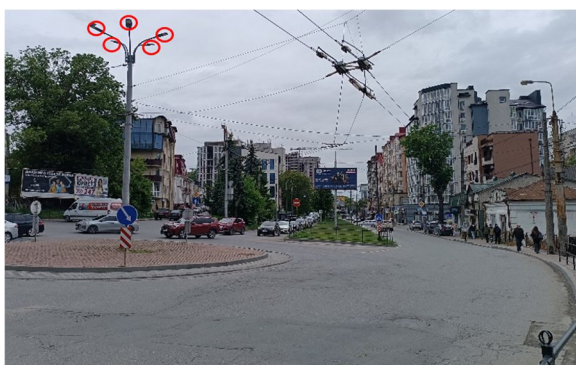


Рисунок 2.8 – Розміщення світлових приладів в системі освітлення кільцевого перехрестя вулиць Соломії Крушельницької, Богдана Хмельницького, Родини Барвінських та проїзду під двоарковим мостом

Для освітлення перехрестя у вигляді розвилки вулиць Соломії Крушельницької, Білецька та Михайла Грушевського, а також ділянки проїжджої частини вулиці Михайла Грушевського застосовується система типу 1 (рис. 2.9). Світлові прилади із газорозрядними лампами потужністю 150 Вт розміщені на опорах, по два – на кожен опору. Один світильник напрямлений на проїжджу частину, інший – на тротуар. Висота встановлення світлових приладів становить 12 м. Кількість опор для освітлення перехрестя становить 3, а для освітлення ділянки проїжджої частини вулиці Михайла Грушевського – 4. Відстань між опорами – 25 ... 30 м.

Для освітлення пішохідного переходу через проїжджу частину вулиці Михайла Грушевського застосовуються напівпровідникові світлові прилади, розміщені на опорах. Висота встановлення світильників – 5 м.

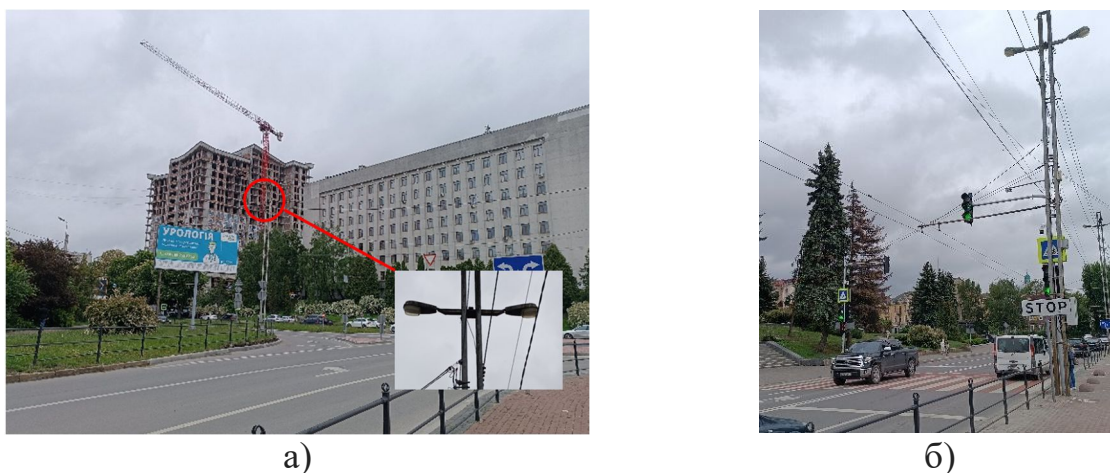


Рисунок 2.9 – Розміщення світлових приладів в системі освітлення перехрестя у вигляді розвилки вулиць Соломії Крушельницької, Білецька та Михайла Грушевського (а) татакож ділянки проїжджої частини вулиці Михайла Грушевського (б)

2.2 Аналіз результатів обстеження та заходи з модернізації систем освітлення вулиць

Як видно із вищенаведеного, в системах освітлення проїжджих частин вулиць Соломії Крушельницької, Замкова та Михайла Грушевського застосовуються переважно світильники з розрядними джерелами світла, а конкретно – світильники із лампами типу ДНаТ потужністю 150 Вт. Вийнятком є система освітлення вулиці Замкова в зоні зупинки громадського транспорту «Готель Тернопіль».

На основі результатів обстеження встановлено, що кількість світлоточок із розрядними джерелами світла становить:

- вулиця Соломії Крушельницької – 29;
- вулиця Замкова – 16;
- розвилка вулиць Михайла Грушевського, Соломії Крушельницької та Білецька – 14.

Врахувавши, що середньовстановлена потужність одного світильника дорівнює 165 Вт (потужність лампи ДНаТ – 150 Вт та втрати в ПРА – 15 Вт), то

сумарна потужність світлових приладів із розрядними джерелами світла становить 9,74 кВт.

Звідси, перший захід по модернізації систем освітлення вулиць є заміна світильників із лампами ДНаТ на напівпровідникові світлові прилади. Заміну передбачимо прямою для освітлення проїжджих частин вулиці Соломії Крушельницької, Михайла Грушевського та частини вулиці Замкова від примикання із вулицею Руська до примикання проїжджої частини Майдану Волі та вулиці Старий Ринок. Крім цього, для цієї частини вулиці передбачимо заміну існуючих неізолюваних проводів на самонесучі ізолювані. Для проїжджої частини вулиці Замкова від перехрестя із вулицею Грушевського до примикань із проїжджою частиною Майдану Волі та пішохідними зонами, які ведуть до Тернопільського замку заміну встановлення світильників передбачимо на ново встановлених опорах (рис. 2.10) на висоті 12 м над поверхнею полотна.



Рисунок 2.10 – Нововстановлені опори СК 120-10 вулиці Замкова

Окрім цього, у зв'язку із низькою ефективністю освітлювальних комплексів системи освітлення частини смуги руху транспортних засобів П.2 передбачимо їх заміну на світильники зі світлодіодними платами.

Для пішохідних переходів п1 та п3 вулиці Замкова передбачимо встановлення додаткових світлових приладів. Встановлення додаткових світлових приладів передбачимо також для освітлення пішохідних зон (тротуарів) та зупинок громадського транспорту.

Підсумовуючи вищенаведене занесемо усі заходи із модернізації систем освітлення кожної вулиці до табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Заходи щодо модернізації систем освітлення вулиць

Суть заходу	Частини вулиць		
	Соломії Крушельницької	Замкова	Михайла Грушевського
Пряма заміна світлових приладів на напівпровідникові для освітлення проїжджої частини	I, II.2	-	+
Заміна світлових приладів на напівпровідникові для освітлення проїжджої частини	II.1	+	
Встановлення напівпровідникових світлових приладів для освітлення пішохідних переходів	-	п1, п3	-
Заміна системи освітлення перехресть	+	-	+
Встановлення світлових приладів для освітлення пішохідних зон (тротуарів) та зупинок громадського транспорту	+	+	-
Заміна неізолюваних проводів електричної освітлювальної мережі на СИП-кабелі	-	+	-

2.3 Вибір нормованих світлотехнічних параметрів систем вуличного освітлення об'єктів проектування

Як було зазначено в аналітичному розділі, основним регламентованим світлотехнічним параметром проїжджих частин вулиць є яскравість дорожнього покриття. Для подальших розрахунків приймемо, що всі об'єкти проектування відносяться до категорії Б3, а отже середня яскравість покриття прямолінійних елементів вулиць повинна становити не нижче 0,6 кд/м², а відношення мінімальної яскравості до середньої та мінімальної до максимальної – не нижче, ніж 0,3 та 0,4 відповідно.

При цьому висоту встановлення світлових приладів необхідно вибирати такою, щоб пороговий коефіцієнт приросту яскравості не перевищував 15 %.

Відповідно до примітки 2, що у табл. 8.27 [2] для перехресть, наземних пішохідних переходів, посадочних площадок маршрутного транспорту, а також аварійно-небезпечних ділянок середня яскравість дорожнього покриття повинна становити не нижче, ніж $1,6 \text{ кд/м}^2$. Для подальшого моделювання для площадок зупинок громадського транспорту відповідно до табл. 8.32 [2] в якості регламентованого параметра виберемо середню горизонтальну освітленість, яка повинна становити не нижче, ніж 10 лк. Окрім цього, відповідно до табл. 8.36 [2] для пішохідних переходів приймаємо що мінімальна горизонтальна освітленість зон пішохідних переходів повинна становити не менше, ніж 6 лк, а середня – не нижче 20 лк. Для перехресть приймемо нормоване значення середньої яскравості – $0,8 \text{ кд/м}^2$ відповідно до п.

Середня яскравість тротуарів, котрі примикають до проїжджих частин відповідно до п. 8.5.3 [2] повинна становити не менше, ніж половину яскравості покриття відповідної проїжджої частини. Проте, відповідно до п. 8.5.20 в якості регламентованого світлотехнічного показника систем освітлення непроїзних частин можна використовувати середню горизонтальну освітленість, котра відповідно до табл. 8.32 повинна становити не нижче, ніж 4 лк для тротуарів вулиць категорій А та Б. Аналогічний рівень нормованої освітленості можна визначити на підставі даних, наведених в табл. 8.30 та 8.31, згідно із якими тротуари, відділені від проїзної частини відносяться до класу пішохідного простору П4. Для об'єктів цього середня горизонтальна освітленість повинна становити не нижче, ніж 4 лк, а її відношення до максимальної – не нижче, ніж 1:5.

Відповідно до п. 8.5.9 та табл. 8.29 [2] для компенсації спаду рівня світлового потоку від світлових приладів в процесі експлуатації в подальших розрахунках використаємо коефіцієнт запасу, котрий при дворазовому чищенню світильників у рік, ступеню пиловологозахисту світильників не нижче 53 становить 1,5.

2.4 Вибір світлових приладів

При виборі світлових приладів звернемо увагу на наступні їх особливості:

- можливість встановлення необхідного напрямку свічення завдяки здатності до регулювання кута нахилу;
- наявність спеціальної кривої сили світла для освітлення пішохідних переходів;
- можливість монтажу, як на кронштейн, так і на підвіс, що необхідно буде врахувати при розробці технічних рішень щодо модернізації освітлення вулиці Замкової.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики світильника ДКУ41У



Рисунок 2.11 – Зображення світильника типу ДКУ41У

Напруга живлення, В	12, 24, 36, 220 AC, DC
Потужність, Вт	20 ... 170
cosφ	0,95
Світловий потік, лм	2600 ... 22100
Світлова віддача, лм/Вт	130
Тип кривої сили світла (кут випромінювання °)	Ш (150) спеціальна (освітлення пішохідних переходів)
Корельована колірна температура, К	4000
Клас електрозахисту	I
Ступінь пиловологозахисту	IP67
Маса, кг	4,5 ... 10,6
Температура навколишнього середовища, 120 °C	-40 ... +50

Для освітлення проїзних частин, пішохідних переходів, зупинок громадського транспорту вулиці Соломії Крушельницької, а також перехрестя у вигляді розвилки вулиць Соломії Крушельницької, Білецька та Михайла Грушевського, а також ділянки проїжджої частини вулиці Михайла

Грушевського застосуємо світильники типу ДКУ41У (рис. 11), технічні характеристики якого приведені в табл. 2.3 [8].

Крім цього цей світильник має можливість регулювання кута нахилу до 15° в одному або у двох напрямках (рис. 2.12).

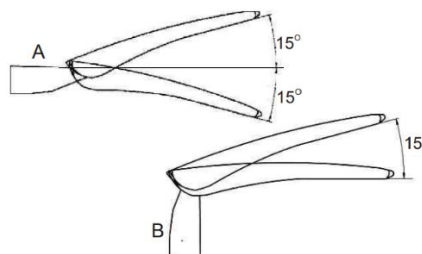


Рисунок 2.12 – Регулювання кута нахилу світильника ДКУ41У

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики світильника ДСУ10В



Рисунок 2.13 – Зображення світильника типу ДСУ10В

Напруга живлення, В	12, 24, 36, 220 АС, DC
Потужність, Вт	25 ... 100
cosφ	0,95
Світловий потік, лм	3125 ... 14500
Світлова віддача, лм/Вт	125 ... 145
Тип кривої сили світла (кут випромінювання °)	Ш (151×81) Спеціальна (освітлення пішохідних переходів)
Корельована колірна температура, К	4000
Клас електрозахисту	I
Ступінь пиловологозахисту	IP65
Маса, кг	1,9 ... 3,7
Температура навколишнього середовища, 120 °C	-40 ... +40

Для освітлення проїжджих частин вулиці Замкова застосуємо:

- для частини вулиці від перехрестя із вулицею Грушевського до примикань із проїжджою частиною Майдану Волі та пішохідними зонами, які ведуть до Тернопільського замку - світильники типу ДКУ41У

- для частини вулиці від примикання із вулицею Руська до примикання проїжджої частини Майдану Волі та вулиці Старий Ринок – світильники

ДСУ10В (рис. 2.13), монтаж яких можна здійснювати на горизонтальний трос. Характеристики ДСУ10В приведено в табл. 2.4 [9].

Як видно із приведених таблиць, світильники мають широкую криву сили світла. Окрім цього дані світильники можуть мати корельовану колірну температуру 3000 та 5000 К.

Типові криві сили світла, притаманні розглядуваним світильникам приведено на рис. 2.14.

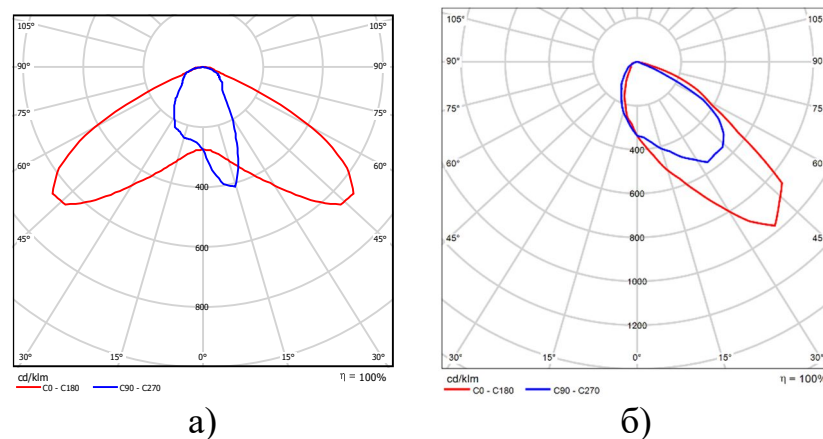


Рисунок 2.14 – Типові криві сили світла світлових приладів: освітлення проїзних частин (а), освітлення пішохідних переходів (б)

2.5 Проектування електричних освітлювальних мереж

2.5.1 Вулиця Соломії Крушельницької

Живлення світлових приладів для освітлення смуги руху II.1 передбачимо по кабельних лініях, розміщених у землі. В якості кабелів використаємо чотирижильний алюмінієвий броньований кабель типу АВБбШп, котрий рекомендується для прокладання електричних мереж у землю або , у каналах, шахтах та тунелях. Живлення системи освітлення передбачимо по ділянці електричної освітлювальної мережі 1 (рис. 2.15) від існуючої опори.



Рисунок 2.15 – Схема розміщення опор в системі освітлення смуги руху II.1 вулиці Соломії Крушельницької

Попередньо виберемо кабель АВБбШп – 4×2,5. Січення жил 2,5 мм² відповідає вимогам [10], виходячи із умов механічної міцності.

Для даної електричної освітлювальної мережі виконаємо розрахунок по струму навантаження та по втраті напруги.

Робочий струм навантаження трифазної електричної освітлювальної мережі розрахуємо за формулою [5, 10]:

$$I_p = \frac{P_p \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos \varphi}, \quad (2.1)$$

де P_p – встановлена потужність світильників, котрі живлення яких здійснюється розрахунковою ділянкою, кВт. Для даного випадку $P_p = 0,540$ кВт.

$U_{\text{л}} = 380$ В, – номінальна лінійна напруга;

$\cos \varphi = 0,95$ – коефіцієнт активної потужності.

Підставивши значення у формулу (2.1), отримаємо:

$$I_p = \frac{0,540 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,95} = 0,86 \text{ А},$$

що є допустимим для алюмінієвих кабелів такого перерізу.

Падіння напруги на окремих ділянках електричної освітлювальної мережі

визначимо за формулою:

$$\Delta U = \frac{M}{c \cdot S}, \quad (2.2)$$

де M – момент електричного навантаження;

c – коефіцієнт, який для трифазної електричної освітлювальної мережі з номінальною напругою 380/220 В та алюмінієвими жилами кабелів приймається таким, що дорівнює 44;

S – площа поперечного перерізу жил кабелів.

Для ділянки 1 (рис. 2.15) маємо: $P_p = 0,540$ кВт; $l = 100$ м. Електричний момент навантаження для даної ділянки:

$$M_1 = 0,540 \cdot 100 = 54 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Підставивши значення для M_1 , c та S у формулу (2.2), отримаємо:

$$\Delta U_1 = \frac{54,00}{44 \cdot 2,5} = 0,49 \text{ \%}.$$

Аналогічно розраховуємо падіння напруги і для інших ділянок. Результати розрахунку приведено у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку електричної мережі системи освітлення смуги руху II.1 вулиці Соломії Крушельницької

Номер ділянки	Сумарна потужність світильників, що живляться через розрахункову ділянку, Вт	Довжина ділянки, м	Момент електричного навантаження, кВт·м	Площа поперечного перерізу, мм ²	Падіння напруги, %
1	0,540	100	54,00	2,5	0,49
2	0,480	28	13,44	2,5	0,12
3	0,420	28	11,76	2,5	0,11
4	0,360	28	10,08	2,5	0,09
5	0,300	28	8,4	2,5	0,08
6	0,240	28	6,72	2,5	0,06
7	0,180	28	5,04	2,5	0,05
8	0,120	28	3,36	2,5	0,03
9	0,060	28	1,68	2,5	0,02
Сумарна втрата напруги, %					1,04

2.5.2 Вулиця Замкова

Живлення світлових приладів для освітлення проїзної частини І передбачимо по кабельних лініях, розміщених у при прокладанні у повітрі по несучих кабелях, на яких розміщені світлові прилади.. В якості кабелів використаємо чотирижильний алюмінієвий кабель типу СІП 4 $4 \times 25 \text{ мм}^2$. Живлення системи освітлення передбачимо по ділянці електричної освітлювальної мережі 1 (рис. 2.16) від існуючої опори.

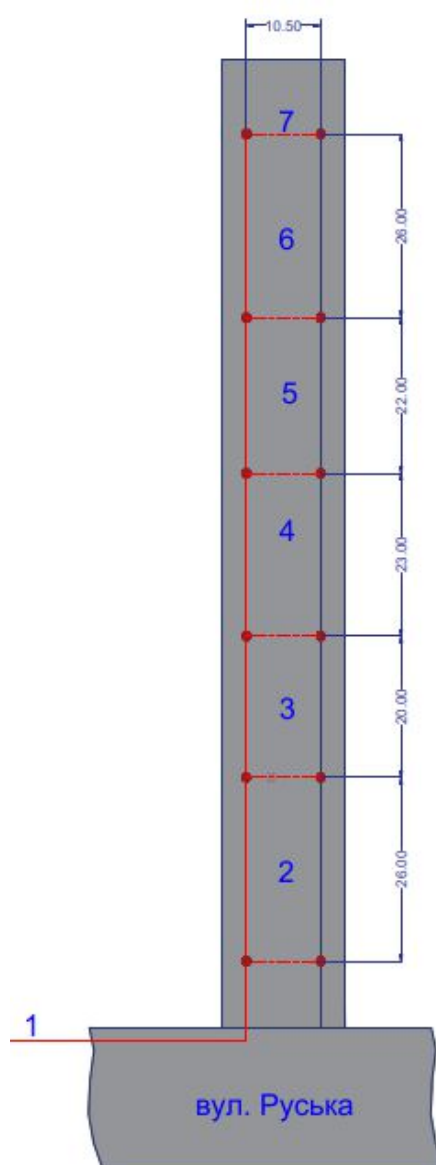


Рисунок 2. 16 – Схема розміщення світлових приладів в системі освітлення проїзної частини II вулиці Замкова

Розрахунок по струпу навантаження та по втраті напруги виконаємо аналогічно, як і для вулиці Соломії Крушельницької. Підставивши $P_p = 0,480$ кВт у формулу (2.1), отримаємо:

$$I_p = \frac{0,480 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,95} = 0,77 \text{ А},$$

що є допустимим, оскільки максимальний струм для кабеля СП 4×25 становить 112 А.

Результати розрахунку електричної освітлювальної мережі системи освітлення смуги руху І по враті напруги приведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Результати розрахунку електричної мережі системи освітлення проїзної частини ІІ вулиці Замкова

Номер ділянки	Сумарна потужність світильників, що живляться через розрахункову ділянку, Вт	Довжина ділянки, м	Момент електричного навантаження, кВт·м	Площа поперечного перерізу, мм ²	Падіння напруги, %
1	0,480	100,00	48,00	25	0,04
2	0,400	26,00	10,4	25	0,01
3	0,320	20,00	6,4	25	0,01
4	0,240	23,00	5,52	25	0,01
5	0,160	22,00	3,52	25	0,00
6	0,080	26,00	2,08	25	0,00
7	0,040	10,50	0,42	25	0,00
Сумарна втрата напруги, %					0,07

2.6 Висновки до розділу

1. На основі виконаного обстеження встановлено, що системи освітлення проїзних частин, перехресть, зупинок громадського транспорту, пішохідних переходів вулиць, які розглядаються в даній роботі потребують модернізації.

2. Визначено шляхи модернізації систем освітлення, котрі полягають у прямій заміні світильників лампами типу ДНаТ на світлодіодні (усі вулиці, які розглядаються); заміні освітлювальних комплексів зі світлодіодними лампами на світлодіодні світильники (частина вулиці Соломії Крушельницької),

встановленні додаткових світлових приладів для освітлення зупинки громадського транспорту (вул. Соломії Крушельницької) та пішохідних переходів (вул. Замкова), заміні кабелів електричних освітлювальних мереж (вул. Соломії Крушельницької та Замкова).

3. Здійснено вибір нормованих світлотехнічних параметрів та вуличних світильників. Для освітлення частини вулиці Замкова пропонується застосувати світильники типу ДСУ10В з можливістю монтажу шляхом підвісу на горизонтальний трос, а для решти освітлювальних об'єктів – світильники ДКУ41У зі встановленням на кронштейн.

4. 5. В якості кабелів електричної освітлювальної мережі частини вулиці Соломії Крушельницької запропоновано використати броньовані кабелі АВББШп-4×2,5 із підземним прокладанням. Для освітлювальної електромережі частини вулиці Замкова – кабелі типу СІП 4×25.

6. Виконано розрахунок втрати напруги на ділянках ліній, котрі живлять світлові прилади систем освітлення частини вулиць Соломії Крушельницької та Замкова. Втрати напруги становлять 1,04 та 0,07 % відповідно.

3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Моделювання та світлотехнічний розрахунок систем освітлення вулиць

Шляхом моделювання та світлотехнічного розрахунку визначимо потужності світлових приладів для забезпечення нормованих значень світлотехнічних параметрів на поверхнях проїзних частин, тротуарів, зупинок громадського транспорту та пішохідних переходів. Моделювання та світлотехнічний розрахунок виконаємо, використовуючи спеціалізований програмний пакет DIALux evo. Вихідними даними для розрахунку будуть:

- нормовані значення яскравості (освітлення) та параметри їх розподілу по розрахункових поверхнях;
- геометричні розміри об'єкта розрахунку;
- умови встановлення світлових приладів (висота, спосіб установки, кут нахилу світлового приладу, крок між опорами, виліт світлового приладу);
- світлотехнічні характеристики світлового приладу, котрі відображаються у файлах із розширенням .ldt та .ies.
- чисельне значення коефіцієнта запасу;

Задля забезпечення нормованих значень яскравості перед черговим чищенням світильника врахуємо значення коефіцієнта експлуатації, котрий є обернено пропорційним до коефіцієнта запасу. Оскільки в проектно-конструкторському розділі було прийнято, що коефіцієнт щасу дорівнює 1,5, то коефіцієнт експлуатації:

$$MF = \frac{1}{1,5} = 0,67.$$

3.1.1 Розрахунок систем освітлення вулиці Соломії Крушельницької

Вихідні дані для розрахунку смуги руху I вулиці приведено в табл. 3.1.

Оскільки відстань між опорами, на які встановлено світлові прилади, не є постійною, то подальші моделювання та світлотехнічний розрахунок виконаємо при значеннях максимальної та мінімальної відстані між опорами.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані розрахунку системи освітлення смуги руху I вулиці Соломії Крушельницької

довжина ділянки вулиці, для якої проводиться модернізація, м	530
ширина проїжджої частини, м	7,5
кількість опор зі встановленими світловими приладами, шт	20
найбільша відстань між двома сусідніми опорами, м	35
найменша відстань між двома сусідніми опорами, м	29
ширина тротуару, м	1,5, 2,0, 2,5
висота встановлення світлових приладів (1) (рис. 3.1), м	12,0
виліт світильника (2), м	1,0
кут нахилу кронштейна (3), °	15

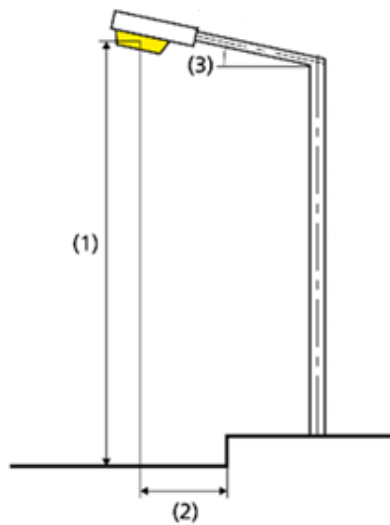


Рисунок 3.1 – Схема, яка наочно демонструє параметри установки світлових приладів в пакеті DIALux evo

Розрахунок проведемо при використанні в системі освітлення світильника типу ДКУ41-60-001 потужністю 60 Вт та світловим потоком 7800 лм. Причому кут нахилу поздовжньої осі світильника відносно кронштейна 0° , тобто кут нахилу осі світильника відносно горизонталі становить 15° . Результати розрахунку приведено в табл. 3.2

Таблиця 3.2 – Результати моделювання та світлотехнічного розрахунку системи освітлення проїзної частини смуги руху І вулиці Соломії Крушельницької

Тип світлового приладу	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Відстань між опорами, м	Висота встановлення світильника, м	Кут нахилу світильника, °	Нормовані значення світлотехнічних параметрів				Розрахункові значення світлотехнічних параметрів					
						$L_{сер}$, кд/м ²	$L_{min}/L_{сер}$	$L_{max}/L_{сер}$	TI, %	L_{min} , кд/м ²	$L_{сер}$, кд/м ²	L_{max} , кд/м ²	$L_{min}/L_{сер}$	L_{min} / L_{max}	TI, %
ДКУ41У-60-001	60	7800	29	12	15	0,6	0,3	0,4	15	0,41	0,55	0,70	0,75	0,59	5
		35	0,29							0,43	0,57	0,67	0,51	5	
ДКУ41У-75-001	75	9750	29							0,46	0,64	0,81	0,72	0,57	5
			35							0,37	0,53	0,72	0,70	0,51	5
										0,37	0,57	0,77	0,65	0,48	5
										0,37	0,59	0,84	0,63	0,44	5
										0,37	0,61	0,85	0,61	0,44	6
			29							0,46	0,73	0,97	0,63	0,47	5

Таблиця 3.3 – Результати моделювання та світлотехнічного розрахунку системи освітлення тротуарів, котрі примикають до смуги руху І вулиці Соломії Крушельницької

Тип світлового приладу	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Відстань між опорами, м	Висота встановлення світильника, м	Кут нахилу світильника, °	Ширина тротуару, м	Нормовані значення світлотехнічних параметрів		Розрахункові значення світлотехнічних параметрів			
							$E_{сер}$, лк	$E_{сер}/E_{max}$	E_{min} , кд/м ²	$E_{сер}$, кд/м ²	E_{max} , кд/м ²	$E_{сер}/E_{max}$
ДКУ41У-75-001	75	9750	29	12	0	1,5	4	1/5	7,19	8,60	10,60	0,81
						2,0			6,82	8,30	10,50	0,79
			2,5			6,44			8,00	10,40	0,77	
			1,5			5,28			7,13	9,82	0,73	
			2,0			6,88			5,04	9,70	0,52	
			2,5			3,40			4,07	5,19	0,78	
			35									

З результатів розрахунку видно, що застосування світильників такої потужності в системі освітлення не дозволяє забезпечити усі вимоги щодо нормованих світлотехнічних параметрів (розрахункові значення середньої яскравості становлять 0,55 та 0,43, при нормованому значенні 0,6 кд/м²). Тому, для збільшення середньої яскравості використаємо світильники потужністю 75 Вт, що дозволить забезпечити яскравість на рівні 0,64 кд/м² при відстані між опорами 29 м та 0,53 кд/м² – при відстані 35 м.

Для підвищення рівня середньої яскравості змінимо кут нахилу світильника завдяки можливості регулювання. Як видно із результатів розрахунку при куті нахилу світлового приладу відносно горизонталі 0° (кут нахилу поздовжньої осі відносно кронштейна становить - 15°) можна забезпечити значення середньої яскравості на рівні 0,61 кд/м² при відстані між опорами 35 м та 0,73 кд/м² – при відстані 29 м. Враховуючи, що значення інших розрахункових світлотехнічних параметрів відповідають нормативним вимогам, то приймаємо саме таке розміщення світлових приладів. Графік розподілу яскравості по поверхні дорожнього покриття смуги руху I приведено на рис. 3.2.

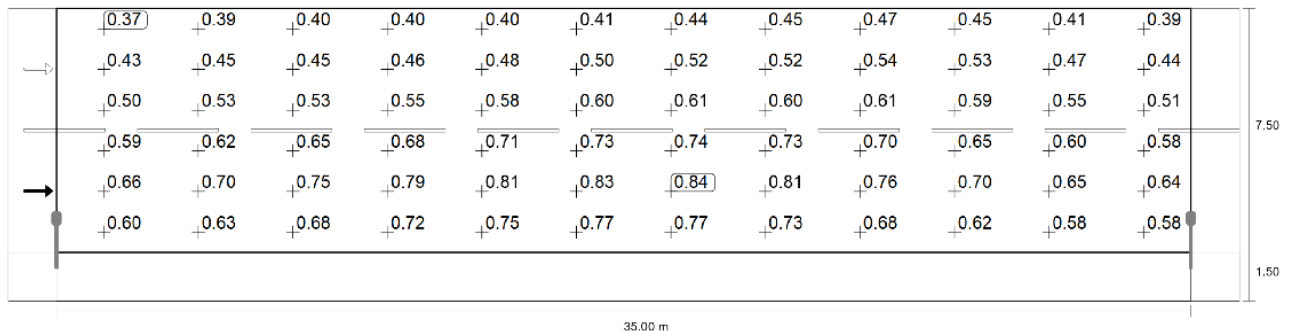


Рисунок 3.2 – Графік розподілу яскравості по поверхні покриття смуги руху I вул. Соломії Крушельницької при використанні світильників типу ДКУ41У-75-001 (відстань між опорами – 35 м, висота встановлення світильників – 12 м, кут нахилу світильника відносно горизонталі – 0°)

Виконаємо розрахунок освітленості поверхонь покриття тротуарів, котрі примикають до смуги руху I. Як видно із результатів, наведених в табл. 3.3, така система освітлення смуги руху I дозволяє забезпечити і нормовані вимоги щодо

освітлення тротуару. Графік розподілу освітленості по поверхні покриття тротуару приведено на рис. 3.3.

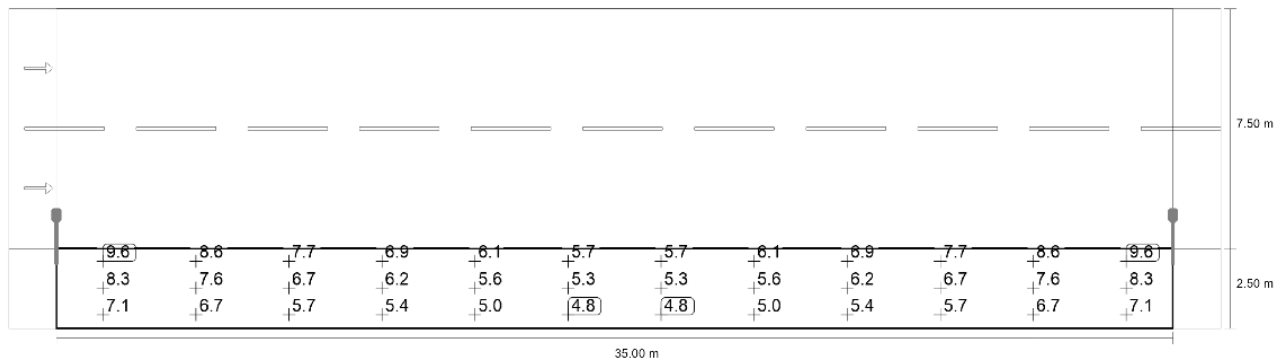


Рисунок 3.3 – Графік розподілу освітленості по поверхні покриття тротуару, котрий примикає до смуги руху І вул. Соломії Крушельницької при використанні світильників типу ДКУ41У-75-001 (відстань між опорами – 35 м, висота встановлення світильників – 12 м, кут нахилу світильника відносно горизонталі – 0°)

Для модернізації системи освітлення смуги руху II.1 передбачимо заміну освітлювальних комплексів на світлові прилади із опорами. Вихідні дані для моделювання та світлотехнічного розрахунку приведено в табл. 3.4

Таблиця 3.4 – Вихідні дані для моделювання та світлотехнічного розрахунку системи освітлення смуги руху II.1

Довжина ділянки вулиці, для якої проводиться модернізація, м	250
Ширина проїжджої частини, м	7,5
Ширина смуги між проїждною частиною та тротуаром, м	1,5
Ширина тротуару, м	2,5

Оскільки на даній смузі руху відсутня контактна мережа тролейбуса, то відповідно до п. 6.3.5 [11] мінімальна висота встановлення світлових приладів над проїжджою частиною становить 6,5 м.

В результаті моделювання та світлотехнічного розрахунку встановлено, що для забезпечення виконання вимог щодо середньої яскравості дорожнього покриття, а також її рівномірності розподілу по поверхні смуги руху II.1

необхідно застосувати систему освітлення, характеристики якої приведено в табл. 3.5. Графіки розподілу яскравості по поверхні проїзної частини та освітленості по поверхні тротуару приведено на рис. 3.4 та 3.5 відповідно.

Таблиця 3.4 – Характеристики системи освітлення смуги руху П.1

Тип світлових приладів	ДКУ41У-60-001
Потужність світлового приладу, Вт	60
Світловий потік світлового приладу, лм	7800
Висота встановлення світлових приладів, м	8
Кількість опор зі встановленими світловими приладами, шт	9
Відстань між двома сусідніми опорами відстань, м	28
Виліт світильника, м	0,0
Кут нахилу світильника, °	30
Результати моделювання та світлотехнічного розрахунку проїзної частини	
$L_{\min}$, кд/м ²	0,39
$L_{\text{сер}}$, кд/м ²	0,63
$L_{\max}$, кд/м ²	0,97
$L_{\min}/L_{\text{сер}}$	0,64
$L_{\max}/L_{\text{сер}}$	0,40
TI, %	10
Результати моделювання та світлотехнічного розрахунку тротуару	
$E_{\min}$, лк	1,91
$E_{\text{сер}}$, лк	4,82
$E_{\max}$, лк	8,90
$E_{\text{сер}}/E_{\max}$	0,54

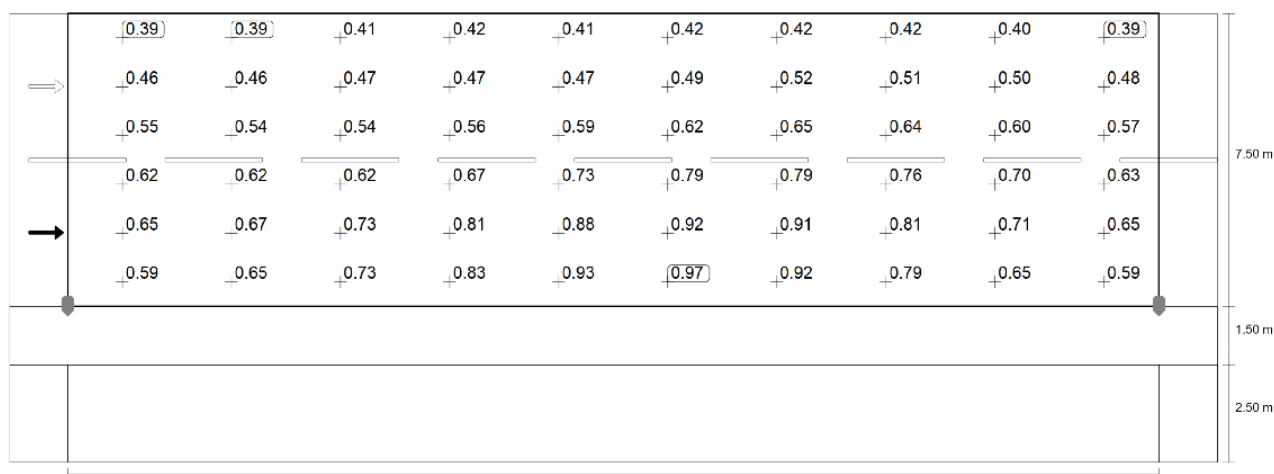


Рисунок 3.4 – Графік розподілу яскравості по поверхні проїзної частини смуги руху П.1

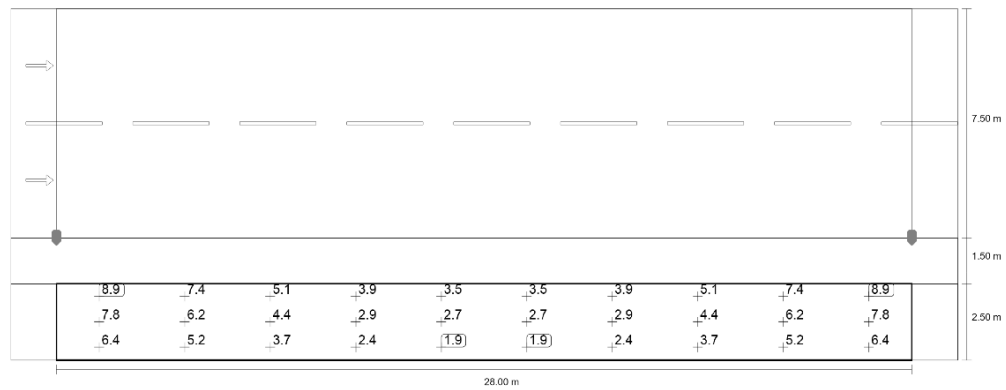


Рисунок 3.5 – Графік розподілу освітленості по поверхні тротуару смуги руху II.1

Для моделювання та світлотехнічного розрахунку смуги руху II.2 застосуємо вихідні дані, як і для смуги I, однак відстані між опорами становлять 20 та 27 м. Результати моделювання та розрахунку приведено в табл. 3.5, а графік розподілу яскравості по поверхні покриття – на рис. 3.6.

Із результатів розрахунку видно, що виконання нормативних вимог щодо усіх світлотехнічних параметрів забезпечується при використанні світильників ДКУ41У-60-001 та куті їх нахилу відносно горизонталі -5° .

3.1.2 Розрахунок систем освітлення вулиці Замкова

Для модернізації системи освітлення зони руху I вулиці (див. рис. 1.4) пропонується заміна світлових приладів, розташованих на висоті 9 м над центральною віссю проїзної частини, на напівпровідникові світильники, причому розміщення цих світильників передбачимо на кронштейни, котрі монтуються на опори тролейбусної контактної мережі. Висоту встановлення світлових приладів передбачимо такою ж, як і для зон руху I та II.2 вулиці Соломії Крушельницької. Крок між опорами – 20 ... 25 м, кут нахилу світлового приладу відносно горизонталі – 15° . Виліт світлового приладу над краєм проїзної частини – 1 м. Результати моделювання та світлотехнічного розрахунку систем освітлення смуги руху I вулиці приведено в табл. 3.6 та 3.7, а графіки розподілу по яскравості та освітленості по поверхнях проїзної частини та тротуарів відповідно – на рис. 3.7 та 3.8.

Таблиця 3.5 – Результати моделювання та світлотехнічного розрахунку системи освітлення проїзної частини смуги руху П.2 вулиці Соломії Крушельницької

Тип світлового приладу	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Відстань між опорами, м	Висота встановлення світильника, м	Кут нахилу світильника, °	Нормовані значення світлотехнічних параметрів				Розрахункові значення світлотехнічних параметрів					
						$L_{сер}, \text{кд/м}^2$	$L_{min}/L_{сер}$	$L_{max}/L_{сер}$	TI, %	$L_{min}, \text{кд/м}^2$	$L_{сер}, \text{кд/м}^2$	$L_{max}, \text{кд/м}^2$	$L_{min}/L_{сер}$	L_{min}/L_{max}	TI, %
ДКУ41У-50-001	50	6500	20	12	5	0,6	0,3	0,4	15	0,46	0,69	0,89	0,67	0,52	4
			27							0,34	0,51	0,67	0,67	0,51	5
ДКУ41У-60-001	60	7800	20							0,55	0,82	1,07	0,67	0,51	4
			27							0,40	0,61	0,81	0,66	0,49	5

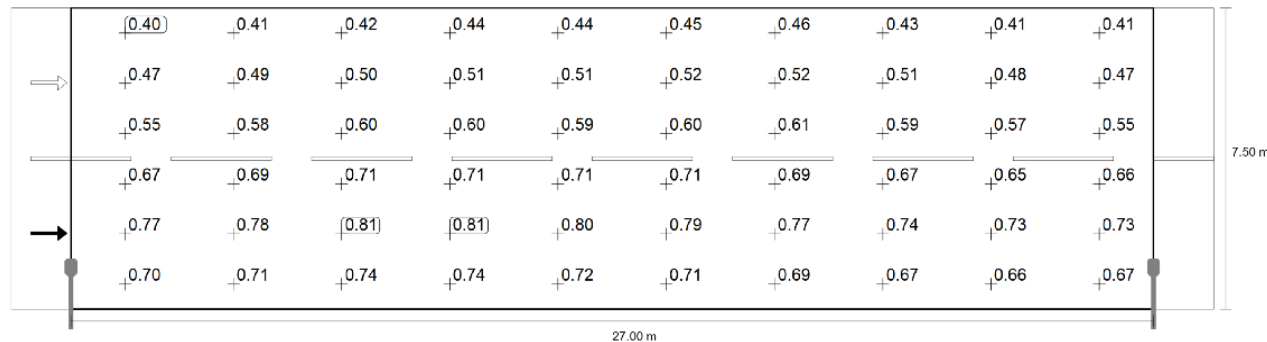


Рисунок 3.6 – Графік розподілу яскравості по поверхні покриття смуги руху П.2 вул. Соломії Крушельницької при використанні світильників типу ДКУ41У-60-001 (відстань між опорами – 27 м, висота встановлення світильників – 12 м, кут нахилу світильника відносно горизонталі – 5°)

Таблиця 3.6 – Результати моделювання та світлотехнічного розрахунку системи освітлення проїзної частини смуги руху І вулиці Замкова

Тип світлового приладу	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Відстань між опорами, м	Висота встановлення світильника, м	Кут нахилу світильника, °	Нормовані значення світлотехнічних параметрів				Розрахункові значення світлотехнічних параметрів					
						$L_{сер}, \text{кд/м}^2$	$L_{min}/L_{сер}$	$L_{max}/L_{сер}$	TI, %	$L_{min}, \text{кд/м}^2$	$L_{сер}, \text{кд/м}^2$	$L_{max}, \text{кд/м}^2$	$L_{min}/L_{сер}$	L_{min} / L_{max}	TI, %
ДКУ41У-60-001	60	7800	20	12	15	0,6	0,3	0,4	15	0,40	0,66	0,89	0,61	0,45	5
			25							0,33	0,53	0,72	0,62	0,46	5
ДКУ41У-75-001	75	9750	20							0,50	0,83	1,11	0,60	0,45	5
			25							0,41	0,66	0,90	0,62	0,46	5

Таблиця 3.7 – Результати моделювання та світлотехнічного розрахунку системи освітлення тротуарів смуги руху І вулиці Замкова

Тип світлового приладу	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Відстань між опорами, м	Висота встановлення світильника, м	Кут нахилу світильника, °	Ширина тротуару, м	Нормовані значення світлотехнічних параметрів		Розрахункові значення світлотехнічних параметрів			
							$E_{сер}$, лк	$E_{сер}/E_{max}$	E_{min} , кд/м ²	$E_{сер}$, кд/м ²	E_{max} , кд/м ²	$E_{сер}/E_{max}$
ДКУ41У-75-001	75	9750	20	12	15	2,0	4	1/5	10,10	11,00	12,10	0,91
			2,5			7,37			9,00	10,50	0,86	
			2,0			8,23			8,81	9,59	0,92	
			2,5			5,72			7,22	8,68	0,83	

При модернізації освітлення смуги руху II встановимо світлові прилади на горизонтальні троти на висоті 9 м над проїжджою частиною. Щоб отримати необхідні значення параметрів рівномірності розподілу яскравості встановимо по 2 світильники на кожний трот над межами, які розділяють проїжджу частину та тротуар.

В результаті моделювання та світлотехнічного розрахунку (табл. 3.8, 3.9) встановлено, що для забезпечення виконання нормативних світлотехнічних вимог щодо систем освітлення як проїзної частини, так і тротуарів необхідно використати світильники типу ДСУ10В-40-1-324, світловий потік яких становить 5000 лм. Графіки розподілу яскравості та освітленості по поверхнях проїзної частини та тротуарів відповідно представлені на рис. 3.9 та 3.10.

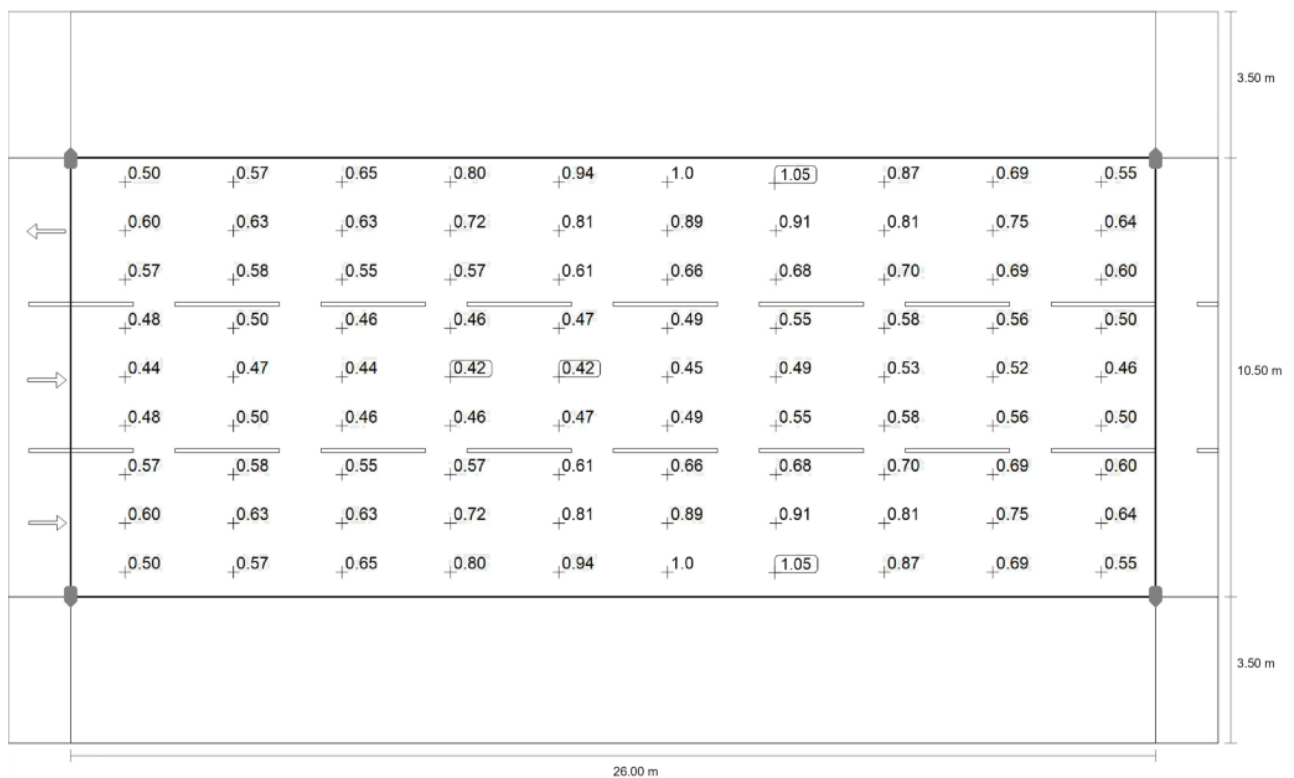


Рисунок 3.9 – Графік розподілу яскравості по поверхні покриття смуги руху II вул. Замкова при використанні світильників типу ДСУ10В-40-1-324 (відстань між світильниками вздовж осі дороги – 26 м, висота встановлення світильників – 9 м, кількість світильників на 1 троті – 2)

Таблиця 3.6 – Результати моделювання та світлотехнічного розрахунку системи освітлення проїзної частини смуги руху II вулиці Замкова

Тип світлового приладу	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Відстань між світильниками	Висота встановлення світильника, м	Кількість світильників при підвісі на 1 трос	Нормовані значення світлотехнічних параметрів				Розрахункові значення світлотехнічних параметрів					
						$L_{сер}, \text{кД/м}^2$	$L_{min}/L_{сер}$	$L_{max}/L_{сер}$	ПІ, %	$L_{min}, \text{кД/м}^2$	$L_{сер}, \text{кД/м}^2$	$L_{max}, \text{кД/м}^2$	$L_{min}/L_{сер}$	L_{min} / L_{max}	ПІ, %
ДСУ10В-30-1-324 LUX	30	4350	20	9,0	2	0,6	0,3	0,4	15	0,49	0,72	1,13	0,68	0,43	5
			26							0,37	0,55	0,93	0,67	0,40	5
ДСУ10В-40-1-324	40	5000	20							0,56	0,82	1,30	0,68	0,43	5
			26							0,42	0,63	1,05	0,67	0,40	5

Таблиця 3.7 – Результати моделювання та світлотехнічного розрахунку системи освітлення тротуарів смуги руху II вулиці Замкова

Тип світлового приладу	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Відстань між опорами, м	Висота встановлення світильника, м	Кількість світильників при підвісі на 1 трос	Ширина тротуарів, м	Нормовані значення світлотехнічних параметрів		Розрахункові значення світлотехнічних параметрів			
							$E_{сер}, \text{лк}$	$E_{сер}/E_{max}$	$E_{min}, \text{кД/м}^2$	$E_{сер}, \text{кД/м}^2$	$E_{max}, \text{кД/м}^2$	$E_{сер}/E_{max}$
ДСУ10В-40-1-324	75	9750	20	12	15	3,5	4	1/5	9,86	12,5	16,3	0,48
			25						6,19	9,62	12,9	0,83

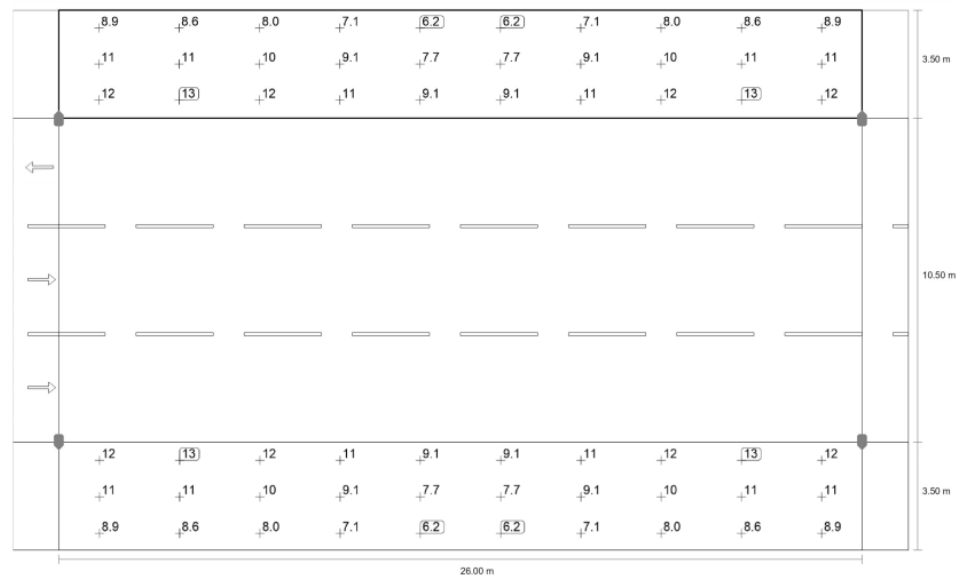


Рисунок 3.9 – Графік розподілу освітленості по поверхнях тротуарів смуги руху II вул. Замкова при використанні світильників типу ДСУ10В-40-1-324 (відстань між світильниками вздовж осі дороги – 26 м, висота встановлення світильників – 9 м, кількість світильників на 1 тросі – 2)

3.1.3 Перехрестя вулиць Соломії Крушельницької, Білецької та Михайла Грушевського

Моделювання та розрахунок для системи освітлення перехрестя, а також частини вулиці Михайла Грушевського виконаємо, виходячи із наступних вихідних даних:

- для освітлення власне перехрестя I (рис. 3.10) застосуємо 3 світильники ДКУ41У-110-001 (1 – 3) потужністю 110 Вт та зі світловим потоком 14300 лм;
- висота встановлення світильників 1 – 3 – 12 м, виліт світильника – 0,5 м; кут нахилу світильника – 20°;
- врахуємо світловий потік, який надходить від світильників 4 та 5, котрі освітлюють проїзні частини вулиці Соломії Крушельницької;
- для освітлення частини вулиці Михайла Грушевського II використаємо 4 світильники ДКУ41У-100-001 (6 – 9) потужністю 100 Вт та зі світловим потоком 13000 лм;
- висота встановлення світильників 6 – 9 – 12 м, виліт світильника – 0,5 м;

кут нахилу світильника – 20° ;

- освітлення пішохідних переходів III та IV передбачимо від світильників 1 – 9.



Рисунок 3.10 – Розміщення світильників в системі освітлення перехрестя

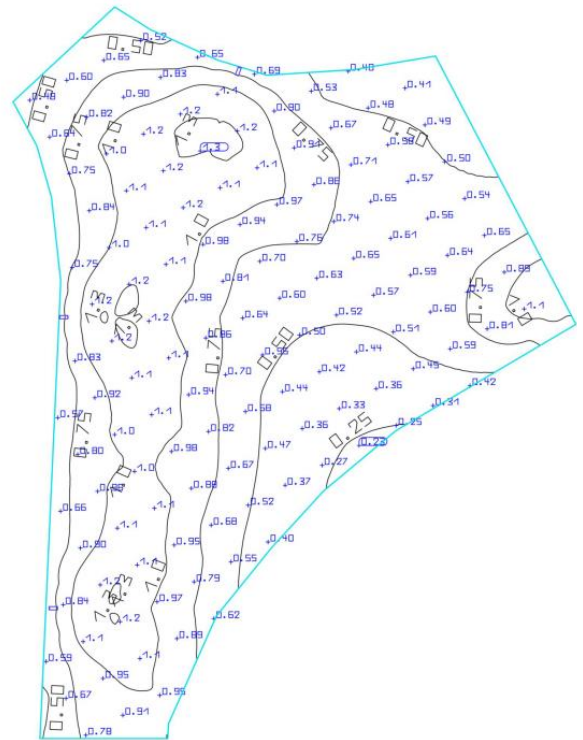


Рисунок 3.11 – Графік розподілу яскравості по поверхні перехрестя I

Внаслідок моделювання та світлотехнічного розрахунку встановлено, що така система освітлення дозволяє забезпечити середню яскравість поверхні дорожнього покриття $0,81 \text{ кд/м}^2$ при нормованому значенні $0,8 \text{ кд/м}^2$. Середня освітленість при цьому становить $12,2 \text{ лк}$ при нормованому значенні 10 лк .

Результати розрахунку освітленості проїзної частини та тротуарів частини вулиці Михайла Грушевського приведено в табл. 3.8 та 3.9 відповідно. Графіки розподілу яскравості по поверхні проїзної частини та освітленості по поверхні тротуарів – відповідно на рис. 3.12 та 3.13.

Таблиця 3.6 – Результати моделювання та світлотехнічного розрахунку системи освітлення проїзної частини вулиці Михайла Грушевського

Тип світлового приладу	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Відстань між опорами, м	Висота встановлення світильника, м	Кут нахилу світильника, °	Нормовані значення світлотехнічних параметрів				Розрахункові значення світлотехнічних параметрів					
						$L_{сер}, \text{кд/м}^2$	$L_{min}/L_{сер}$	$L_{max}/L_{сер}$	TI, %	$L_{min}, \text{кд/м}^2$	$L_{сер}, \text{кд/м}^2$	$L_{max}, \text{кд/м}^2$	$L_{min}/L_{сер}$	L_{min} / L_{max}	TI, %
ДКУ41У-75-001	75	9750	22	12	20	0,6	0,3	0,4	15	0,47	0,77	1,07	0,61	0,44	8
			29							0,37	0,59	0,82	0,62	0,45	8
ДКУ41У-100-001	100	13000	22							0,63	1,02	1,42	0,62	0,44	9
			29							0,50	0,78	1,09	0,64	0,46	9

Таблиця 3.7 – Результати моделювання та світлотехнічного розрахунку системи освітлення тротуарів вулиці Михайла Грушевського

Тип світлового приладу	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Відстань між опорами, м	Висота встановлення світильника, м	Кут нахилу світильника, °	Ширина тротуару, м	Нормовані значення світлотехнічних параметрів		Розрахункові значення світлотехнічних параметрів			
							$E_{сер},$ лк	$E_{сер}/$ E_{max}	$E_{min},$ кд/м ²	$E_{сер},$ кд/м ²	$E_{max},$ кд/м ²	$E_{сер}/$ E_{max}
ДКУ41У-75-001	75	9750	22	12	20	4,5	4	1/5	3,70	5,12	6,59	0,78
			6,0			6,24			8,23	10,80	0,76	
			29			4,5			2,34	3,90	5,21	0,75
			6,0			4,70			6,25	8,07	0,77	
ДКУ41У-100-001	100	13000	22			4,5			4,94	6,83	8,79	0,78
			6,0			8,32			11,00	14,40	0,76	
			4,5			3,12			5,20	6,94	0,75	
			6,0			6,27			8,33	10,80	0,77	

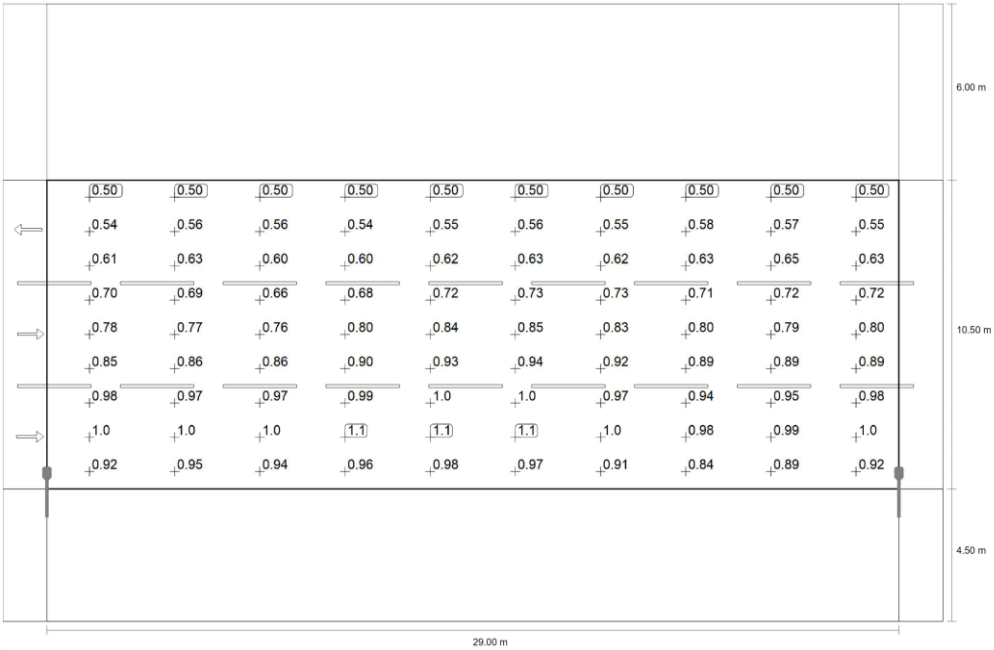


Рисунок 3.12 – Графік розподілу яскравості по поверхні проїзної частин вулиці Михайла Грушевського

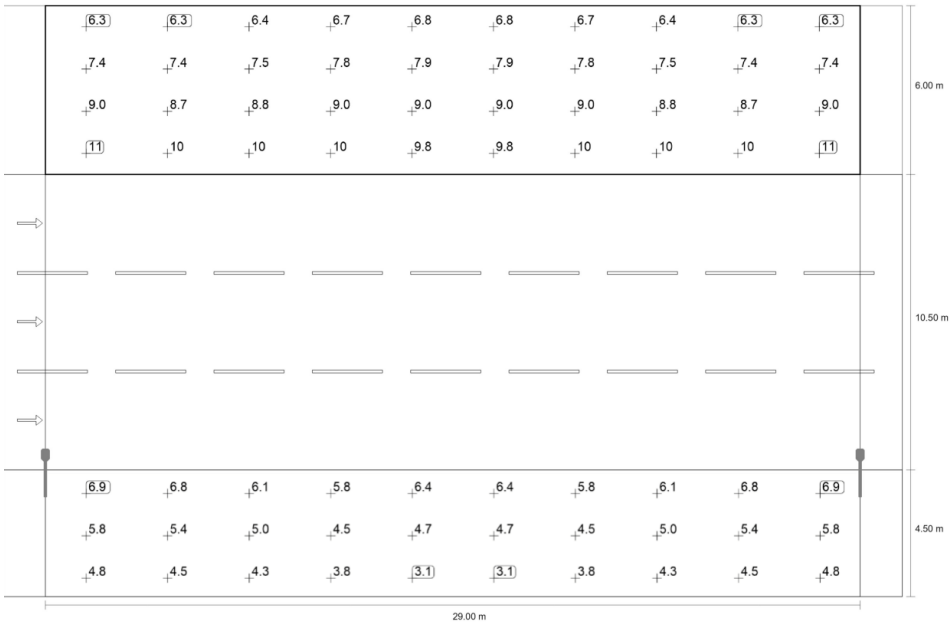


Рисунок 3.13 – Графік розподілу яскравості по поверхнях тротуарів вулиці Михайла Грушевського

3.1.4 Зупинка громадського транспорту та пішохідні переходи

Виконаємо розрахунок для випадку, коли зупинка громадського

транспорту освітлюється світильниками, перш призначення яких полягає в освітленні проїзної частини. Вихідні дані для розрахунку:

- глибина заїзної кишені – 2,0 м;
- розміри зони зупинки – 2,5 м×27 м.
- відстань між опорами – 34 м;
- кількість світильників – 2;
- висота встановлення світильників – 12 м;
- кут нахилу світильників – 0°;

В результаті розрахунку отримано результати:

- середнє значення освітленості (яскравості) поверхні покриття заїзної кишені – 7,60 лк (0,48 кд/м²); нормоване значення – 10 лк.
- середнє значення освітленості (яскравості) поверхні покриття зупинки – 5,29 лк (0,34 кд/м²); нормоване значення – 10 лк.

Як видно із результатів розрахунку така система освітлення не здатна забезпечити виконання вимог щодо середньої освітленості. Тому для збільшення освітленості додатково встановимо на існуючі опори по одному світильнику ДКУ41У-50-001 зі світловим потоком 6500 лм. Для такої системи освітлення отримано результати світлотехнічного розрахунку:

- середнє значення освітленості (яскравості) поверхні покриття заїзної кишені – 16,5 лк (1,05 кд/м²).
- середнє значення освітленості (яскравості) поверхні покриття зупинки – 13,4 лк (0,85 кд/м²).

Тому для зупинки приймаємо саме таку систему освітлення. Графік розподілу освітленості по поверхні покриття зупинки, заїзної кишені та проїзної частини приведено на рис. 3.14.

Шляхом розрахунку встановлено, що для такої системи освітлення коефіцієнт приросту яскравості становить 6 %.

Вихідні дані моделювання та світлотехнічного розрахунку пішохідних переходів по вул. Замкова полягають у наступному:

- розміри пішохідного переходу п1 – 4 м×10,5 м;

- розміри пішохідного переходу п3 – 4 м×20,0 м;
- висота встановлення світильників – 6,5 м;
- відстань від краю дороги до проекції точки розміщення світлового приладу на площину переходу – 0,5 м.

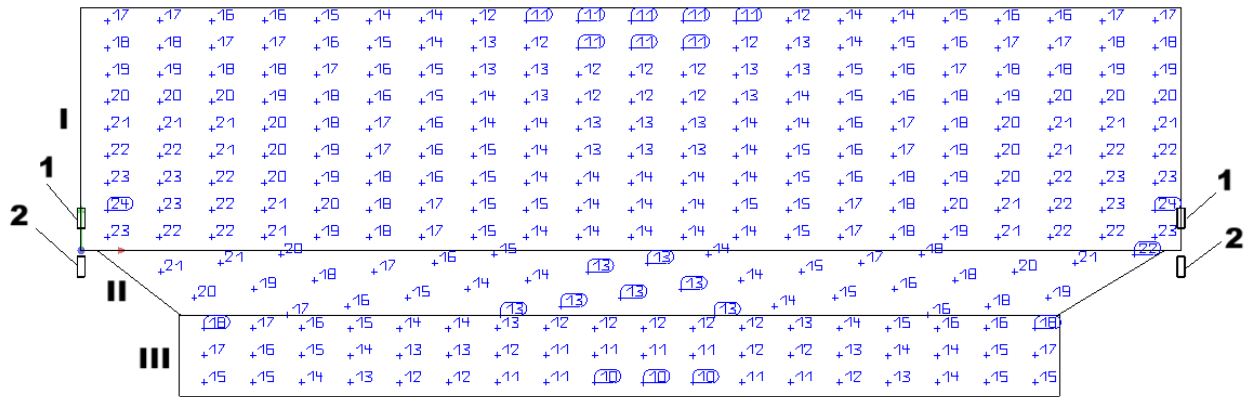


Рисунок 3.14 – Графік розподілу освітленості, створеної двома світильниками ДКУ41У-75-001 (1) та двома світильниками ДКУ41У-50-001 по поверхнях покриттів проїзної частини (I), заїзної кишені (II) та зупинки громадського транспорту (III) «Вулиця Соломії Крушельницької»

В результаті моделювання та світлотехнічного розрахунку встановлено, що 2 світильники типу ДКУ41У-40-003 потужністю 40 Вт та зі світловим потоком 5200 лм здатні створити середню яскравість в межах пішохідного переходу п1 на рівні 1,71 кд/м². Нормоване значення середньої яскравості становить 1,6 кд/м². Мінімальна освітленість – 20 лк (нормоване значення 6 лк), середня освітленість – 26,9 лк (нормоване значення 20 лк).

Для забезпечення виконання норм щодо середньої яскравості поверхні пішохідного переходу п3 необхідно застосувати 4 світильники ДКУ41У-40-003. Розрахункова яскравість при такій системі освітлення становить 1,82 кд/м². Мінімальна освітленість – 12,9 лк (нормоване значення 6 лк), середня освітленість – 28,6 лк (нормоване значення 20 лк).

Графіки розподілу яскравості по поверхнях пішохідних переходів приведено на рис. 3.15 та 3.16.

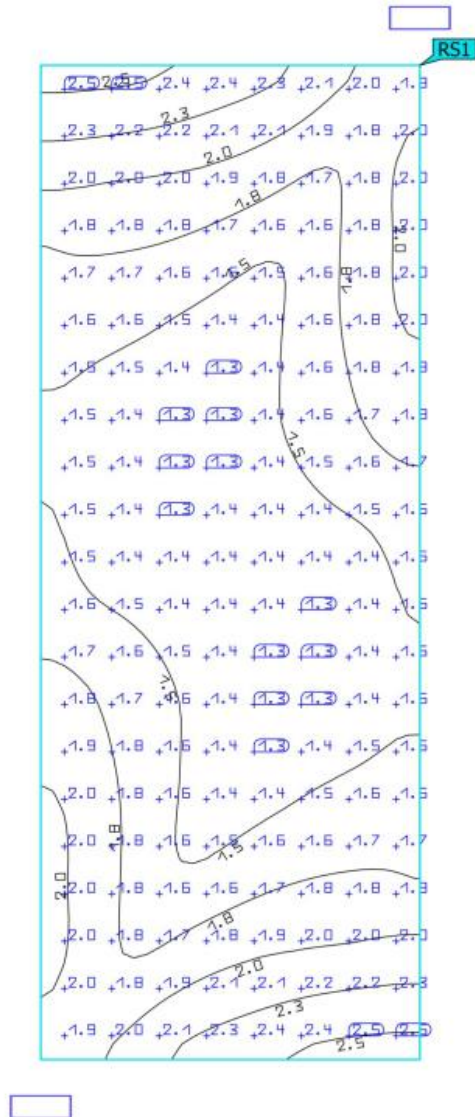


Рисунок 3.15 – Графік розподілу
яскравості по поверхні пішохідного
переходу п1

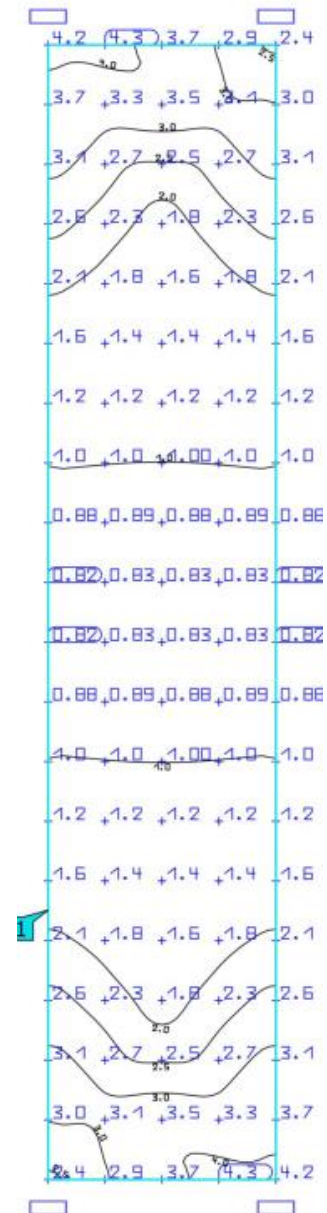


Рисунок 3.16 – Графік розподілу
яскравості по поверхні пішохідного
переходу п3

3.2 Оцінка заходів із модернізації систем освітлення

Для оцінки заходів з модернізації систем освітлення виконаємо співставлення потужності наявних та модернізованих систем освітлення.

При розрахунку врахуємо, що потужність, яка споживається ПРА у світильниках із газорозрядними лампами становить 10 % від потужності лампи,

встановленої у світильнику. Таким чином, споживана потужність одного світильника $P_{1св}$ із лампою потужністю 150 Вт становить:

$$P_{1св} = (1 + 0,1) \cdot 150 = 165 \text{ Вт.}$$

3.2.1 Вулиця Соломії Крушельницької

Потужність систем освітлення $P_{СК1}$, кВт, вулиці Соломії Крушельницької, для яких передбачено заходи з модернізації, розрахуємо за формулою:

$$P_{СК1} = 0,001 \cdot (n_1 \cdot P_{1св} + n_2 \cdot P_{1ок}),$$

де n_1 , n_2 – кількість світильників із розрядними лампами та освітлювальних комплексів відповідно;

$P_{1ок} = 40$ Вт – потужність одного освітлювального комплексу.

Підставивши значення $P_{1св} = 165$ Вт, $P_{1ок} = 40$ Вт, $n_1 = 29$, $n_2 = 8$ у формулу (3.1), отримаємо:

$$P_{СК1} = 0,001 \cdot (29 \cdot 165 + 8 \cdot 40) = 5,105 \text{ кВт.}$$

Потужність модернізованої системи освітлення, $P_{СК2}$ кВт, розрахуємо за формулою:

$$P_{СК2} = 0,001 \cdot (n_{21} \cdot P_1 + n_{22} \cdot P_2 + n_{23} \cdot P_3 + n_{24} \cdot P_4), \quad (3.2)$$

де $n_{21} = 20$ – кількість світильників для освітлення смуги руху I;

$P_1 = 75$ Вт – потужність світильника для освітлення смуги руху I;

$n_{21} = 9$ – кількість світильників для освітлення смуги руху II.1;

$P_2 = 60$ Вт – потужність світильника для освітлення смуги руху II.1;

$n_{23} = 9$ – кількість світильників для освітлення смуги руху II.2;

$P_3 = 60$ Вт – потужність світильника для освітлення смуги руху II.2;

$n_{24} = 2$ – кількість додаткових світильників для освітлення зупинки громадського транспорту;

$P_4 = 50$ Вт – потужність світильника для освітлення смуги руху II.2;

Підставивши чисельні значення у формулу (3.2), отримаємо:

$$P_{CK2} = 0,001 \cdot (20 \cdot 75 + 9 \cdot 60 + 9 \cdot 60 + 2 \cdot 50) = 2,680 \text{ кВт.}$$

Різниця потужностей систем освітлення до та після модернізації:

$$\Delta P_{CK2} = P_{CK1} - P_{CK2} = 5,105 - 2,680 = 2,425 \text{ кВт,}$$

або

$$\Delta P_{CK2} \% = \frac{P_{CK1} - P_{CK2}}{P_{CK1}} \cdot 100\% = \frac{5,105 - 2,680}{5,105} = 47,50\%$$

3.2.2 Вулиця Замкова

Потужність систем освітлення P_{31} , кВт, вулиці Замкова, для яких передбачено заходи з модернізації, становить:

$$P_{31} = 0,001 \cdot n \cdot P_{1св}, \quad (3.3)$$

де $n = 16$ – загальна кількість світильників із розрядними лампами.

Підставивши значення в n та $P_{1св}$ у формулу (3.3), отримаємо

$$P_{31} = 0,001 \cdot 16 \cdot 165 = 2,640 \text{ кВт.}$$

Потужність P_{32} , кВт, модернізованої системи освітлення:

$$P_{32} = 0,001 \cdot (n_I \cdot P_I + n_{II} \cdot P_{II} + n_{п1} \cdot P_{п1} + n_{п3} \cdot P_{п3}), \quad (3.4)$$

де $n_I = 10$ – кількість світильників для освітлення проїзної частини I;

$P_I = 75$ Вт – потужність одного світильника в модернізовані системі освітлення проїзної частини I;

$n_{II} = 12$ – кількість світильників для освітлення проїзної частини II;

$P_{II} = 40$ Вт – потужність одного світильника в модернізованій системі освітлення проїзної частини II;

$n_{п1} = 2$ – кількість світильників для освітлення пішохідного переходу п1;

$P_{п1} = 40$ Вт – потужність одного світильника в модернізованій системі освітлення пішохідного переходу п1;

$n_{п3} = 4$ – кількість світильників для освітлення пішохідного переходу п4;

$P_{п3} = 40$ Вт – потужність одного світильника в модернізованій системі освітлення пішохідного переходу п3.

Підставляючи чисельні значення у формулу (3.4), отримаємо:

$$P_{32} = 0,001 \cdot (10 \cdot 75 + 12 \cdot 40 + 2 \cdot 40 + 4 \cdot 40) = 1,470 \text{ кВт.}$$

Різниця потужностей систем освітлення до та після модернізації:

$$\Delta P_{32} = P_{31} - P_{32} = 2,640 - 1,470 = 1,170 \text{ кВт,}$$

або

$$\Delta P_{32} \% = \frac{P_{31} - P_{32}}{P_{31}} \cdot 100\% = \frac{2,640 - 1,470}{2,640} = 44,31\%.$$

3.2.3 Перехрестя вулиць Соломії Крушельницької, Білецької та Михайла Грушевського

Потужність систем освітлення $P_{ПГ1}$, кВт, перехрестя вулиць Білецька, Соломії Крушельницької, Михайла Грушевського та її частини, для яких передбачено заходи з модернізації, становить:

$$P_{ПГ1} = 0,001 \cdot n_{ПГ} \cdot P_{1св}, \quad (3.5)$$

де $n_{ПГ} = 14$ – загальна кількість світильників із розрядними лампами.

Підставивши значення в $n_{ПГ}$ та $P_{1св}$ у формулу (3.5), отримаємо

$$P_{ПГ} = 0,001 \cdot 14 \cdot 165 = 2,310 \text{ кВт.}$$

Потужність P_{III} , кВт, модернізованої системи освітлення:

$$P_{III2} = 0,001 \cdot (n_{II} \cdot P_{II} + n_{I} \cdot P_{I}), \quad (3.6)$$

де $n_{II} = 3$ – кількість світильників у системі освітлення перехрестя;

$P_{II} = 110$ Вт – потужність одного світильника в модернізовані системі освітлення проїзної частини І;

$n_{I} = 4$ – кількість світильників в системі освітлення частини вулиці Михайла Грушевського;

$P_{I} = 100$ Вт – потужність одного світильника в системі освітлення частини вулиці Михайла Грушевського.

Підставляючи чисельні значення у формулу (3.6), отримаємо

$$P_{III2} = 0,001 \cdot (3 \cdot 110 + 4 \cdot 100) = 0,730 \text{ кВт.}$$

Різниця потужностей систем освітлення до та після модернізації:

$$\Delta P_{III} = P_{III1} - P_{III2} = 2,310 - 0,730 = 1,580 \text{ кВт,}$$

або

$$\Delta P_{III} \% = \frac{P_{III1} - P_{III2}}{P_{III1}} \cdot 100\% = \frac{2,310 - 0,730}{2,310} = 68,40\%.$$

Отримані результати оцінки заходів з модернізації систем освітлення вулиць приведемо в табл. 3.8.

3.3 Висновки до розділу

1. В пакеті DIALux evo виконано моделювання та світлотехнічний розрахунок запропонованих для модернізації систем освітлення проїжджих частин вулиць, тротуарів, пішохідних переходів, зупинки громадського транспорту та перехрестя.

2. На основі результатів розрахунку визначено потужність світлових приладів, а також особливості їх монтажу, котрі б забезпечували виконання нормативних світлотехнічних вимог.

3. Сумарна потужність світлових приладів запропонованих систем освітлення становить 4,088 кВт, що на 51,47 % нижче в порівнянні із існуючими системами.

Таблиця 3.8 – Результати оцінки заходів з модернізації систем освітлення

Характеристики	Соломії Крушельницької	Замкова	Перехрестя Крушельницької, Білецької, Грушевського	Разом
Потужність існуючих систем освітлення, кВт	5,105	2,640	2,310	10,055
Потужність модернізованих систем освітлення, кВт	2,680	1,470	0,730	4,880
Різниця потужностей, кВт	2,425	1,170	1,580	5,175
Відносна різниця потужностей, %	47,50	44,32	68,40	51,47

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Значення та основні задачі штучного 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 частої 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 Фактори впливу електричного струму при ураженні ним людини

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

емнісного 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. Виконано аналіз основних нормативних світлотехнічних вимог до систем вуличного освітлення. Встановлено, що кількісним регламентованим параметром систем освітлення проїжджої частини вулиць є середня яскравість поверхні дорожнього покриття. Якісними показниками виступають показник засліплення та пороговий приріст яскравості.

2. Розглянуто системи вуличного освітлення та їх класифікацію в залежності від висоти та способу монтажу світлових приладів. Встановлено, що для прямолінійних ділянок доріг рекомендується застосовувати систему загального рівномірного освітлення.

3. Наведено основні відомості про об'єкти проектування, а саме вулиці Соломії Крушельницької та Замкова у м. Тернопіль. Метою даної роботи є розроблення технічних рішень щодо модернізації систем освітлення об'єктів проектування. Визначено завдання, які необхідно виконати для досягнення цієї мети.

4. На основі виконаного обстеження встановлено, що системи освітлення проїзних частин, перехресть, зупинок громадського транспорту, пішохідних переходів вулиць, які розглядаються в даній роботі потребують модернізації.

5. Визначено шляхи модернізації систем освітлення, котрі полягають у прямій заміні світильників лампами типу ДНаТ на світлодіодні (усі вулиці, які розглядаються); заміні освітлювальних комплексів зі світлодіодними лампами на світлодіодні світильники (частина вулиці Соломії Крушельницької), встановленні додаткових світлових приладів для освітлення зупинки громадського транспорту (вул. Соломії Крушельницької) та пішохідних переходів (вул. Замкова), заміні кабелів електричних освітлювальних мереж (вул. Соломії Крушельницької та Замкова).

6. Здійснено вибір нормованих світлотехнічних параметрів та вуличних світильників. Для освітлення частини вулиці Замкова пропонується

застосувати світильники типу ДСУ10В з можливістю монтажу шляхом підвісу на горизонтальний трос, а для решти освітлювальних об'єктів – світильники ДКУ41У зі встановленням на кронштейн.

7. В пакеті DIALux evo виконано моделювання та світлотехнічний розрахунок запропонованих для модернізації систем освітлення проїжджих частин вулиць, тротуарів, пішохідних переходів, зупинки громадського транспорту та перехрестя. На основі результатів розрахунку визначено потужність світлових приладів, а також особливості їх монтажу, котрі б забезпечували виконання нормативних світлотехнічних вимог.

8. Сумарна потужність світлових приладів запропонованих систем освітлення становить 4,088 кВт, що на 51,47 % нижче в порівнянні із існуючими системами.

9. В якості кабелів електричної освітлювальної мережі частини вулиці Соломії Крушельницької запропоновано використати броньовані кабелі АВББШп-4×2,5 із підземним прокладанням. Для освітлювальної електромережі частини вулиці Замкова – кабелі типу СІП 4×25.

10. Виконано розрахунок втрати напруги на ділянках ліній, котрі живлять світлові прилади систем освітлення частини вулиць Соломії Крушельницької та Замкова. Втрати напруги становлять 1,04 та 0,07 % відповідно.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Осадца Я.М. Аналіз споживання електричної енергії системами зовнішнього освітлення м. Тернополя // Я.М. Осадца; Р.Б. Кріль; І.Р. Козак – Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції «Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи», 29-31 травня 2024 року – Тернопіль. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2024. – С. 18.
2. ДБН В.2.5 – 28 – 2018. Природне і штучне світлення.– К.: Мінрегіон України, 2018.– 137 с.
3. 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.
4. Салтиков В.О. Освітлення міст: Навчальний посібник. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 221 с.
5. 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.
6. НАШІ СПОЖИВАЧІ URL: <https://vatra.ua/ukr/portfolio> (дата звернення: 20.05.2024).
7. Візіком карти. URL: <https://maps.visicom.ua/c/25.59569,49.55752,17?lang=uk> (дата звернення: 21.05.2025).
8. ДКУ41У. URL: https://vatra.ua/download/PDF_VATRA/street/VATRA-UKR_DKU41U.pdf (дата звернення: 23.05.2025).
9. ДСУ10В. URL: https://vatra.ua/download/PDF_VATRA/street/VATRA-UKR_DSU10V.pdf (дата звернення: 23.05.2025).
10. Правила улаштування електроустановок. – К.: Мінрегіонвугілля України, 2017. – 617 с.

11. АВБ6Шп. URL:

<https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/pue.pdf> (дата звернення: 01.06.2025).

12. 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.