

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розробка проекту системи архітектурного підсвічування будівлі
корпусу № 7 ТНТУ ім. І. Пулюя

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи ЕТс-61
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка

та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Скубенік В.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Осадца Я.М.

Нормоконтроль

(підпис)

Мовчан Л.Т.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Тарасенко М.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Шовкун О.П.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТс – 41. - Т.: ТНТУ, 2023.

Стор. 61; рис. 24; табл. 8; креслень (сторінок презентації) - ____; використаних джерел – 13, сторінок додатків – 3.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: «Розробка проекту системи архітектурного підсвічування будівлі корпусу № 7 ТНТУ ім. І. Пулюя».

Метою роботи є розробка проекту розробка проекту системи архітектурного освітлення будівлі корпусу, а також пішохідної алеї корпусу № 7 ТНТУ ім. І. Пулюя, котра б відповідала та забезпечувала нормативні вимоги щодо освітлення.

На підставі світлотехнічного та електротехнічного розрахунків запропоновано проект системи зовнішнього архітектурного освітлення переднього фасаду корпусу № 7 ТНТУ ім. І. Пулюя та освітлення алеї, що веде до нього.

Ключові слова:

ПРОЖЕКТОР, ОСВІТЛЕНІСТЬ, ЯСКРАВІСТЬ, СИЛА СВІТЛА, ПЛОЩА ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ, РОБОЧИЙ СТРУМ, ВТРАТА НАПРУГИ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Аналіз характеристик об'єкта проектування	8
1.2 Мета, прийоми та засоби зовнішнього архітектурного освітлення будівель і споруд	10
1.3 Вимоги до систем зовнішнього архітектурного освітлення	12
1.4 Постановка завдання кваліфікаційної роботи	16
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	18
2.1 Вибір видових напрямків та точок спостереження за об'єктом проектування	18
2.2 Вибір джерел світла та світлових приладів	22
2.3 Вибір нормованих світлотехнічних параметрів системи зовнішнього архітектурного підсвічування корпусу	26
2.4 Проектування електричної мережі системи зовнішнього архітектурного освітлення корпусу	26
2.5 Керування зовнішнім архітектурним освітленням корпусу	29
2.6 Висновки до розділу	31
3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	33
3.1 Моделювання та світлотехнічний розрахунок системи архітектурного підсвічування корпусу	33
3.2 Аналіз результатів світлотехнічного розрахунку	36
3.3 Електротехнічний розрахунок електричної освітлювальної мережі системи архітектурного підсвічування корпусу на мінімум провідникового матеріалу	40
3.4 Розрахунок електричної мережі системи архітектурного підсвічування по струму навантаження та вибір апаратів захисту	45
3.5 Висновки до розділу	48

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	49
4.1 Аналіз заходів безпеки при використанні електрообладнання та електроустановок в громадських спорудах	49
4.2 Оцінка ефективності заходів, пов'язаних із забезпеченням техніки безпеки та охорони праці	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	55
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	57
ДОДАТОК А	59

ВСТУП

Сьогодні складно переоцінити роль ландшафтного, рекламного та архітектурного освітлення у створенні нічного образу міста. Системи підсвічування фасадів будівель і споруд, пам'яток архітектури, об'єктів рекреації дозволяє зробити їх такими, що запам'ятовуються на довгий час.

Основним завданням архітектурного освітлення є забезпечення створення образу об'єкта, який освітлюється в вечірній та нічний час доби. Крім того якісне освітлення всієї прилеглої до будівлі території створює у спостерігача відчуття затишку, захищеності та гармонії, що в свою чергу знижує бажання покидати цей об'єкт.

Крім того для багатьох комерційних установ (банки, готелі, офісні та торгові центри, розважальні комплекси) архітектурне освітлення є одним із рекламних засобів будівлі та може бути індикатором популярності та престижу організації, підприємства, установи, котра знаходиться в даній будівлі. Адже гідний зовнішній вигляд фасаду будівлі, його презентабельність в вечірній та нічний час доби має безпосередній вплив на комерційну успішність підприємства, офіс якого знаходиться в даній будівлі.

Крім створення естетики та рекламування будівлі завданням зовнішнього архітектурного освітлення є забезпечення видимості і виразності, підвищення комфортності світлового середовища, відсутність засліплення водіїв транспорту і пішоходів. При цьому системи зовнішнього архітектурного освітлення повинні забезпечувати нормативні світлотехнічні вимоги, бути енергоощадними та екологічними.

Тому сучасної **актуальності** набуває напрям, пов'язаний зі створенням систем архітектурного підсвічування будівель із використанням енергоощадних та екологічних джерел світла та світлових приладів на їх основі.

Метою даної роботи є розробка проекту системи архітектурного освітлення будівлі корпусу, а також пішохідної алеї корпусу № 7 ТНТУ ім. І. Пулюя, котра б відповідала та забезпечувала нормативні вимоги.

Звідси завдання, котрі ставляться в роботі:

1. Вибір нормованих значень світлотехнічних характеристик систем освітлення, джерел світла, прийомів освітлення та світлових приладів;
2. Визначення точок притягання погляду, на підставі яких вибір прийому освітлення та світлових приладів;
3. Моделювання та світлотехнічний розрахунок системи архітектурного підсвічування корпусу та освітлення алеї;
4. Електротехнічний розрахунок електричної освітлювальної мережі комплексу та алеї.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз характеристик об'єкта проектування

Корпус № 7 Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя було збудовано в 1980 р., як інженерний корпус ВО „Ватра”. На баланс Тернопільського національного технічного університету корпус перейшов в 1995 р.

В приміщеннях корпусу розміщуються приміщення кабінетів, аудиторій та лабораторій кафедри електричної інженерії факультету прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, а також кафедр факультету економіки та менеджменту: менеджменту та адміністрування, психології, управління інноваційною діяльністю. Крім того в корпусі розташовано філіал науково-технічної бібліотеки університету, приміщення котрого планується використовувати під архів. Ці приміщення розташовано на третьому – сьомому поверхах споруди. На дев'ятому поверсі корпусу, в допоміжному приміщенні колишньої венткамери, розміщено дахову котельню, яка призначена для теплопостачання систем опалення корпусу. На перших двох поверхах корпусу розміщено відділення № 1 «Нова пошта» (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Зображення корпусу № 7

Будівля корпусу №7 є 9 поверховою монолітно каркасною спорудою з габаритними розмірами 90,9×15,9×18,3, поперечним перерізом колон 400×400 мм, товщиною внутрішніх стін 150 мм, товщина зовнішніх стін 250 мм і товщиною перекриттів 300 мм. Зовнішні огороження корпусу являють собою мур з керамзито-бетонних плит, покритий тонким шаром фарби.

Корпус № 7 розміщено за адресою вул. Микулинецька, буд. 46 (рис.1.2).



Рисунок 1.1 – Розміщення корпусу № 7 на мапі Тернополя

Поряд з корпусом розташовано виробничі та адміністративні приміщення ТОВ«ОСП КОРПОРАЦІЯ «ВАТРА», ТОВ «Шредер», Завод ТМ «Penoboard», ТОВ „Моторс”. Навпроти корпусу, на протилежній стороні вулиці Микулинецька, розміщено будівлі вантажної станції технічного обслуговування автомобілів, представництва дилерів компаній Hyundai та Volkswagen, автозаправні станції. Через вулицю Микулинецька проходить автодорога міжнародного значення Доманово – Ковель – Чернівці –Тереблече.

Поблизу корпусу розміщено зелені насадження у вигляді травянистих, чагарникових та деревних рослин.

1.2 Мета, прийоми та засоби зовнішнього архітектурного освітлення будівель і споруд

Мета зовнішнього архітектурного освітлення полягає у [1]:

- підкреслюванні ефектності, об'єктів, що освітлюються;
- експонуванні непомітних вдень естетичних особливостей споруди;
- підкреслюванні ефектності архітектурних деталей;
- створенні романтичної чи таємничої атмосфери навколо об'єкта, котрий освітлюється;
- створенні емоційного впливу на уяву спостерігача;
- підвищенні естетичності населеного пункту в цілому, зокрема окремих його районів чи вулиць у темну пору доби;
- акцентуванні на об'єктах, котрі повинні привертати увагу;
- продовженні часу роботи об'єкту за рахунок зацікавленості туристів та клієнтів;
- підвищенні рівня безпеки об'єкта простору, котрий його оточує;
- рекламуванні підприємств та організацій, приміщення якої розташовується в даній будівлі.

Вибір прийому зовнішнього архітектурного освітлення буде залежати від міської забудови навколо об'єкту, його призначення та характеру, можливостей розміщення світлових приладів, умов пристосування спостерігачів до світлового поля, техніко-економічних можливостей замовника.

Основними технічними прийомами зовнішнього архітектурного освітлення є [2]:

1. Загальне заливаюче освітлення, котре забезпечується із заданою рівномірністю світловими приладами прожекторного типу, котрі розташовуються на значних і середніх відстанях від об'єкта. Цей прийом архітектурного освітлення, як правило, здатен зберігати та забезпечувати подібність між вечірнім та денним образами об'єктів (рис. 1.3).

Найефективнішими світловими приладами при такому прийомі архітектурного освітлення є прожектори з дзеркальними параболоциліндричними відбивачами або оптичними елементами, котрі забезпечують відмінну від концентрованої криву сили світла у поперечній площині.

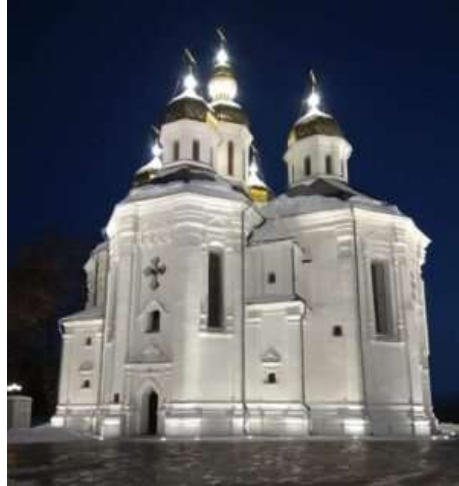


Рисунок 1.3–Зображення об’єкта, освітленого загальним заливаючим освітленням

2. Локалізоване (місьцеве) освітлення (рис. 1.4) рекомендується для фрагментного підсвічування об’єкта та його елементів. При такому прийомі освітлення світлові прилади розміщуються безпосередньо на об’єкті, який потрібно підсвітити, або на близьких відстанях до нього. Локалізоване освітлення виконується малогабаритними світловими приладами.



Рисунок 1.3–Зображення об’єкта, освітленого локалізованим освітленням

Акцентування світла на поверхнях пам'ятників (рис. 1.4), скульптурних композицій вимагає застосування прийому, котрий поєднує в собі прийоми локалізованого (акцентованого) та заливаючого освітлення, що дозволяє використовувати світлові прилади з круглосиметричними дзеркальними відбивачами і концентрованою кривою сили світла. Найчастіше при такому прийомі прожектори заливаючого світла встановлюють на опорах, сусідніх будівлях та спорудах, а також в підземних і надземних спеціально обладнаних нішах. В якості джерел світла можуть використовуватись розрядні джерел світла типу МГЛ, НЛВТ або світлодіоди із досить широким діапазоном потужностей.



Рисунок 1.4 – Зображення об'єкта, освітленого за допомогою прийому заливаючого та локалізованого (акцентованого) освітлення

1.3 Вимоги до систем зовнішнього архітектурного освітлення

Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 [3] основним завданням, котре покладається на зовнішнє архітектурне освітлення є забезпечення в темні періоди доби достатньої видимості та виразності найважливіших об'єктів та підвищення комфортності світлового середовища населеного пункту. Крім того однією із вимог до установок зовнішнього архітектурного освітлення є відсутність засліплення водіїв транспорту та пішоходів.

Регламентованою кількісною характеристикою зовнішнього архітектурного освітлення є яскравість фасадів будівель, споруд, монументів і

елементів ландшафтної архітектури, котра визначається в залежності від їх розташування значущості та переважаючих умов їх зорового сприйняття.

Чисельне значення яскравості архітектурних об'єктів визначається в залежності від категорії міського простору, місця розташування об'єкта, котрий освітлюється, його типу, а також прийому архітектурного підсвічування.

Виділяють три категорії об'єктів за освітленням:

А – магістральні дороги, магістральні вулиці загальноміського значення;

Б – магістральні вулиці районного значення;

В – вулиці і дороги місцевого значення.

Освітлюваними об'єктами категорії А можуть бути:

- пам'ятки архітектури національного значення, монументи і домінантні об'єкти, великі цивільні будівлі, котрі розташовані на площах столичного центру, зонах загальноміських домінант;

- архітектурні, історичні та культурні пам'ятки, а також будівлі та споруди, монументи міського значення, розташовані на мігістральних вулицях і площах загальноміського значення;

- визначні споруди, пам'ятки і монументи, будівлі,, унікальні елементи ландшафту, місцями розташування яких можуть бути бульвари, сади, парки, сквери, пішохідні і вулиці загальноміського значення.

Нормативні вимоги щодо яскравості таких об'єктів показано на діаграмі, що зображена на рис. 1.5.

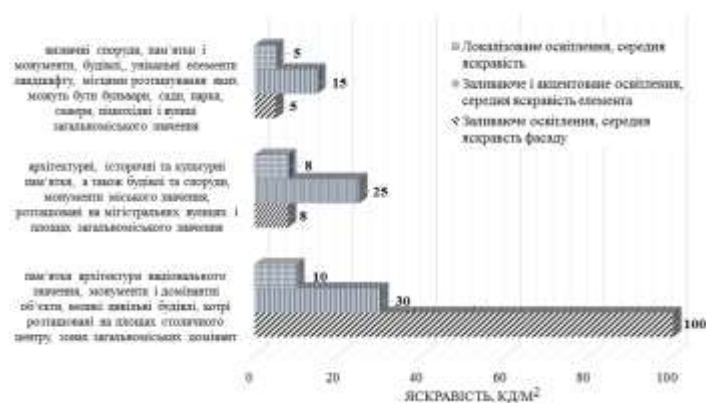


Рисунок 1.5 – Нормативні вимоги щодо яскравості освітлювальних об'єктів категорії А

До освітлюваних об'єктів категорії Б можуть належати:

- пам'ятки, монументи, а також споруди та будівлі окружного та районного значення, котрі можуть бути розташовані на площах окружних і районних громадських центрів або магістральних площах і вулицях окружного і районного значення;
- пам'ятки, монументи, споруди та будівлі окружного та районного значення, а також і характерні елементи ландшафту котрі можуть бути розташовані на територіях садів, парків, скверів, пішохідних вулиць та бульварів окружного і районного значення.

Нормативні вимоги щодо яскравості об'єктів категорії Б показано на діаграмі, що зображена на рис. 1.6.

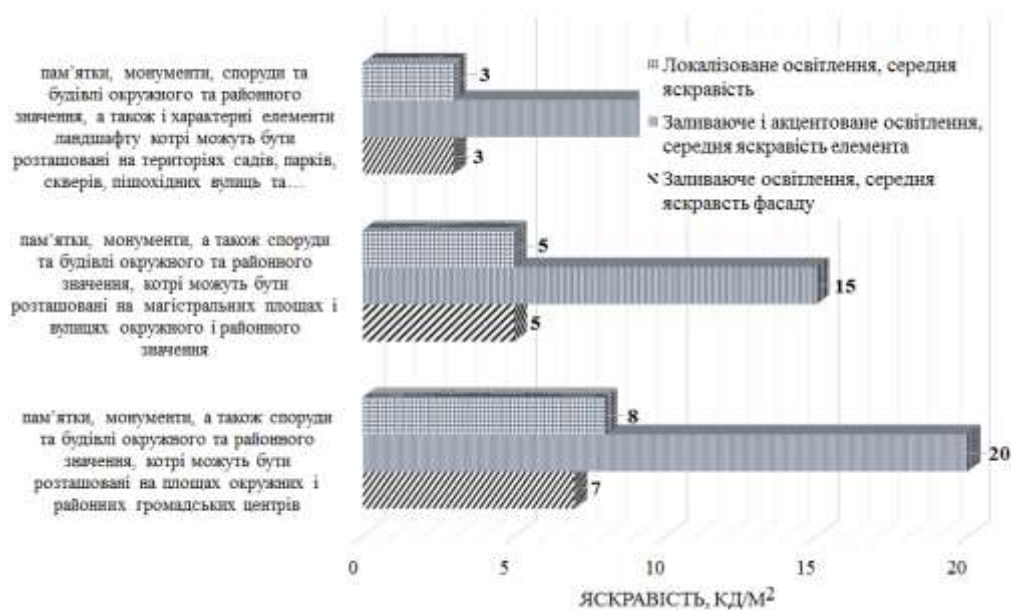


Рисунок 1.6 – Нормативні вимоги щодо яскравості освітлювальних об'єктів категорії Б

Освітлюваними об'єктами категорії В є монументи і пам'ятки, визначні будівлі та споруди, місцями розташування яких є вулиці і площі, а також пішохідні дороги місцевого значення. Також об'єктами цієї ж категорії можуть бути і характерні елементи ландшафту, розташовані в бульварах, садах або

скверах місцевого значення. Нормативні вимоги щодо яскравості таких об'єктів приведено на діаграмах, показаних на рис. 1.7.

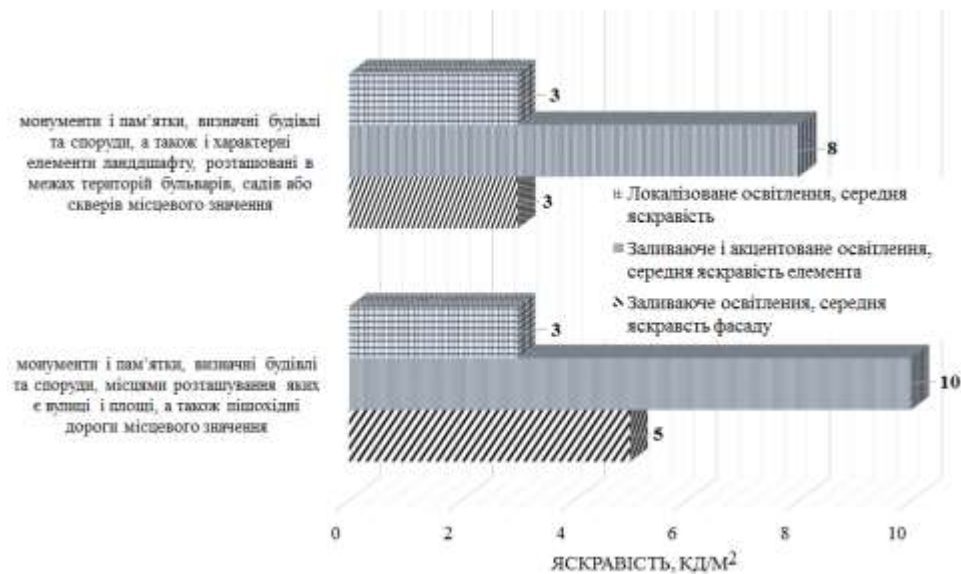


Рисунок 1.7 – Нормативні вимоги щодо яскравості освітлювальних об'єктів категорії В

Нерівномірність освітлення при рівномірному заливаючому освітленні, тобто відношення максимальної освітленості до мінімальної не повинна перевищувати відношення 3:1, а для рельєфних та багатокольорових фасадів – 5:1. При застосуванні інших прийомів зовнішнього архітектурного освітлення такий показник нерівномірності повинен становити не більше ніж 10:1 та не менше, ніж 3:1 в межах зон, котрі освітлюються.

Крім того, основною вимогою є те, щоб прилади зовнішнього архітектурного освітлення були розміщені таким чином, щоб їх вихідні отвори не потрапляли в поле центрального зору водіїв та пішоходів, котрі перебувають на головних напрямках руху.

Світлові прилади зовнішнього освітлення допускається встановлювати на спеціальних опорах, опорах повітряних ліній, стінах та перекриттях споруд та будівель, спеціальних щоглах, естакадах технологічного призначення, майданчиках технологічних установок та димових труб, парапетах та огороженнях мостів і транспортних естакад, на металевих, залізобетонних та

інших конструкціях будівель і споруд незалежно від відмітки їх розташування. Також допускається встановлювати світлові прилади шляхом підвісу на троси, закріплених на стінах будівель та (або) опорах.

Під час вибору висоти та місця розміщення світлових приладів зовнішнього освітлення рекомендується врахування необхідності зручного і безпечного доступу до них для обслуговування під час експлуатації.

Вимог щодо найменшої висоти встановлення освітлювальних приладів для зовнішнього архітектурного освітлення не наведено за винятком, того, що при розміщенні світильників на висоті нижче, ніж 2,5 м допускається застосування напруги до 380 В, якщо світлові прилади мають ступінь пиловологозахисту не нижче IP54. Встановлення світлових приладів в приямок та нішах, нижче від рівня землі, допускається при наявних дренажних чи інших пристроїв для видалення води [4].

1.4 Постановка завдання кваліфікаційної роботи

Предметом проектування в даній є фасад будівлі корпусу № 7 Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, котрий являє собою 9 поверхову монолітно каркасну споруду з габаритними розмірами 90,9×15,9×18,3. Даний корпус розміщено по вул. Микулинецькій 46 в м. Тернополі. Між корпусом та вулицею Микулинецька проходить пішохідна алея.

Метою даної роботи є розробка проекту системи архітектурного освітлення будівлі корпусу, а також пішохідної алеї, котра б відповідає та забезпечувала нормативні дані, наведені в [3, 4]. Звідси завданнями, котрі ставляться до виконання в даній є:

1. Вибір нормованих значень світлотехнічних характеристик систем освітлення, джерел світла, прийомів освітлення та світлових приладів;

2. Визначення точок притягання погляду, на підставі яких вибір прийому освітлення та світлових приладів;

3. Моделювання та світлотехнічний розрахунок системи архітектурного підсвічування корпусу та освітлення алеї;

4. Електротехнічний розрахунок електричної освітлювальної мережі комплексу та алеї.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір видових напрямків та точок спостереження за об'єктом проектування

Розроблення проектів зовнішнього архітектурного освітлення будівель та споруд, у відповідності із технічними завданнями, може виконуватись в одну або дві стадії в залежності від складності об'єктів та їх розмірів. Виконання проектів в одну стадію можна виконувати при проектуванні освітлення окремого будинку, споруди, монумента.

Допроєктна стадія передбачає збирання необхідного інформаційного матеріалу по об'єкту проектування. При цьому виконується аналіз розташування об'єктів, креслення, фотографії фасадів, плани поверхів, покрівлі, генеральні плани у масштабах міської забудови. Крім того здійснюється оцінка характеристик навколишнього середовища в денний, вечірній і нічний час.

Вибір систем та прийомів зовнішнього архітектурного освітлення виконується із врахуванням того, як об'єкт сприймається візуально з різних точок спостереження.

На підставі отриманої інформації розробляється концепція зовнішнього архітектурного освітлення, котра передбачає [1]:

- вибір фасадів об'єкта, які належить підсвічувати;
- визначення, елементів об'єктів, які саме необхідно підсвічувати і на яких не потрібно, щоб зверталась увага спостерігача;
- вибір кольору свічення;
- вибір методів та прийомів освітлення;
- визначення фокусних точок та точок притягання погляду;
- визначення способу і напрямку свічення світлових приладів на конкретні площини фасаду;
- визначення необхідних рівнів яскравості;

- вибір способу під'єднання системи зовнішнього архітектурного освітлення до електричної мережі.

Як видно із вищенаведеного, першочерговою задачею при розробці проекту зовнішнього архітектурного освітлення є вибір видових напрямків та точок спостереження за об'єктом проектування.

Огляд об'єкта спостерігачем полягає в тому, що звертається увага на певні конкретні елементи об'єкту за певною послідовністю. Тому при проектуванні достатнім є зосередження на фокусних точках та точках притягання погляду.

Точками притягання погляду є елементи світлового образу споруди, на котрі концентрується увага під час огляду, як на найвиразніші елементи об'єкта. Передбачимо в проекті одну точку притягання погляду, а саме надпис «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ», який розташовано на стіні п'ятого поверху корпусу посередині головного фасаду (рис. 2.1).

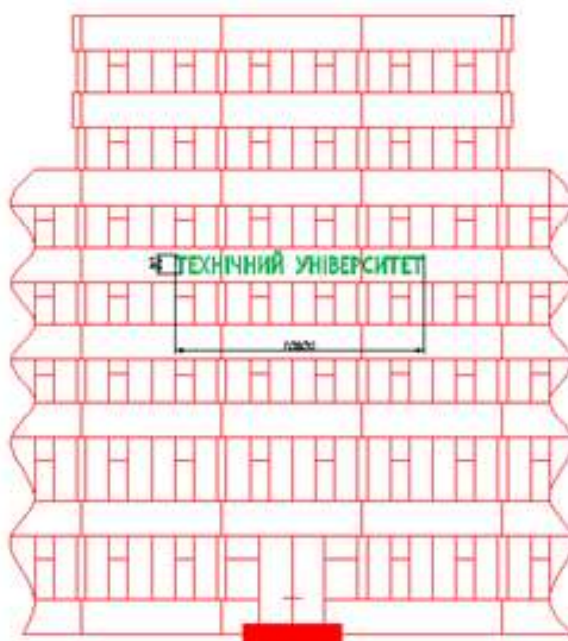


Рисунок 2.1 – Розміщення надпису «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ» на головному фасаді корпусу № 7

Фокусними точками можуть бути інші елементи фасаду, які привертають увагу спостерігача після точки притягання погляду. При проектуванні

зовнішнього підсвічування фасаду корпусу № 7 фокусними точками будуть точки, розміщені на стінах поверхів.

Вибір точок огляду за об'єктом проектування зумовлено місцем положення спостерігача, з якого видно освітлювальний об'єкт. Аналізом було встановлено, що такими місцями є:

точка 1, розміщена на алеї перед корпусом;

точка 2, розміщена на початку алеї перед корпусом;

точка 3, розміщена перед корпусом на протилежній стороні вулиці Микулинецька;

точка 4, розміщена в районі зупинки громадського транспорту «Ватра»;

точка 5, розміщена в районі паркінгу «Нова пошта»;

точка 6, розміщена на протилежній стороні вулиці Микулинецької біля «АЗС Маркет»;

точка 7, розміщена на протилежній стороні вулиці Микулинецької біля АЗС «UPG».



Рисунок 2.2 – Розміщення точок огляду корпусу №7

Зображення корпусу з вищевказаних точок представлено на рис. 2.3.



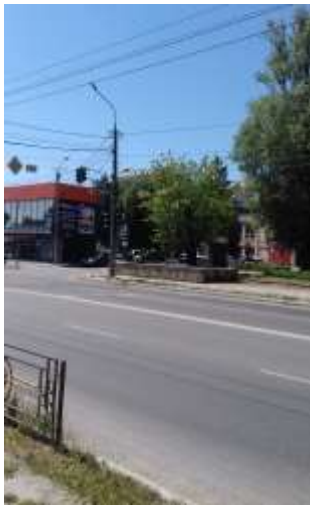
Точка 1



Точка 2



Точка 3



Точка 4



Точка 5



Точка 6



Точка 7

Рисунок 2.3 – Зображення корпусу № 7 із характерних точок спостереження

Як видно із зображень, представлених на рис. 2.3, зовнішнє архітектурне освітлення корпусу потрібно застосовувати для центральної (середньої) частини його фасаду, котру видно із точок огляду 1 – 3 та лівої частини, котру видно із точок 5 – 7. Праву частину корпусу освітлювати недоцільно, оскільки

її спостереженню перешкоджають зелені насадження, що демонструє зображення корпусу з точки спостереження 4, на якому видно лише верхню частину корпусу.

Крім того, при відсутності доцільності освітлення світлопропускних проміжків будівлі зосередимо подальшу увагу на освітленні зовнішніх поверхонь стін центральної та лівої частин переднього фасаду корпусу (рис. 2.4)

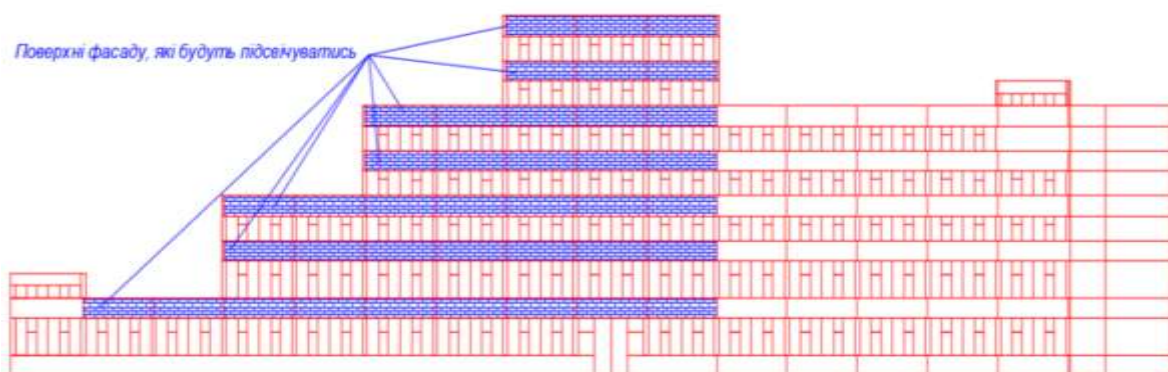


Рисунок 2.4 – Схематичне позначення розташування поверхонь стін фасаду, які потрібно підсвітити

2.2 Вибір джерел світла та світлових приладів

Згідно із пунктом 8.6.9 [3] для освітлення об'єктів, котрі пофарбовано «теплыми» кольорами рекомендується використовувати розрядні або напівпровідникові джерела світла із корельовано колірною температурою до 3500 К.

До розрядних джерел світла відносяться [5]:

– ртутні лампи низького та високого тиску, до яких відносяться відповідно люмінесцентні лампи (рекомендовані для застосування в системах внутрішнього освітлення приміщень) та дугові ртутні лампи (рекомендовані для зовнішнього освітлення);

– металогалогенні лампи – типу ДРІ (рекомендовані для застосування в системах загального освітлення спортивних споруд, виставкових павільйонів, кольорових кінозйомок, тощо);

– натрієві лампи низького і високого тиску – типу ДНаТ (рекомендовані для систем зовнішнього освітлення і внутрішнього освітлення великих площ);

– ксенонові лампи – типу ДКсТ (рекомендовані для застосування в системах освітлення великих відкритих просторів, зовнішнього архітектурного освітлення і теплицях);

– лампи тліючого світіння – типу ТН і дугового розряду (типу ДНеСГ) (застосовуються в системах індикації і сигналізації).

Характеристики розрядних джерел світла, рекомендованих для застосування в зовнішньому освітленні наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики розрядних джерел світла

Характеристики	ДРЛ	ДРИ	НЛВТ НЛНТ	ДКсТ, ДКсШ
Діапазон потужностей, Вт	50 ... 1000	250 ... 3500	50 ... 1000	50 ... 12000
Світлова віддача, лм/Вт	36 ... 60	70 ... 95	100 ... 200	15 ... 52
Корельована колірна температура, К	3300 ... 4200	3000 ... 6000	1900 ... 2500	4000 ... 12000
Індекс кольоропередачі	40 ... 69	≥80	30	95 ... 98
Термін служби, тис. год.	15	5 ... 10	10 ... 28,5	3000

Напівпровідникові джерела світла володіють наступними характеристиками:

Світлова віддача – від 120 лм/Вт;

Корельована колірна температура – 2400 – 7000;

Індекс кольоропередачі – від 180;

Термін служби – від 30 тис. год.

Як видно із вище наведеного, по корельованій колірній температурі вимогам пункту 8.6.9 [3] відповідають напівпровідникові джерела світла, а також розрядні джерела світла, окрім ламп типу ДКсТ та ДКсШ. Щодо індексу кольоропередачі, світловіддачі та терміну служби, то найкращими характеристиками володіють напівпровідникові джерела світла. Окрім того світлодіоди мають ще ряд переваг, в порівнянні із розрядними джерелами світла, котрі полягають у:

відсутності ртуті, що не потребує застосування спеціальних додаткових методів утилізації відпрацьованих джерел світла;

миттєвому перезапалюванні, на відміну від розрядних ламп високого тиску;

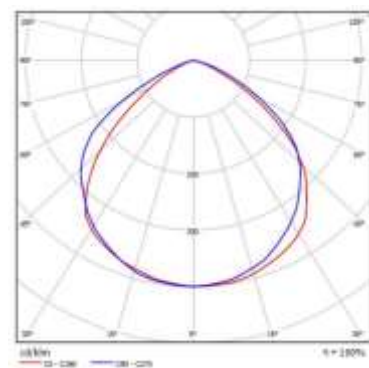
відносно невисокому коефіцієнту пульсацій.

Виходячи із вищевказаного зупинимо свій вибір саме на напівпровідникових джерелах світла.

В якості світлових приладів для зовнішнього архітектурного підсвічування корпусу виберемо світлодіодні світлові прилади прожекторного типу марки BVP150 LED9/WW PSU 10W SWB G2 GM (рис. 2.5), технічні характеристики котрого приведено в табл. 2.2 [6].



а)



б)

Рисунок 2.5 – Прожектор BVP150 LED9/WW PSU 10W SWB G2 GM:

а) – зображення; б) – крива сили світла

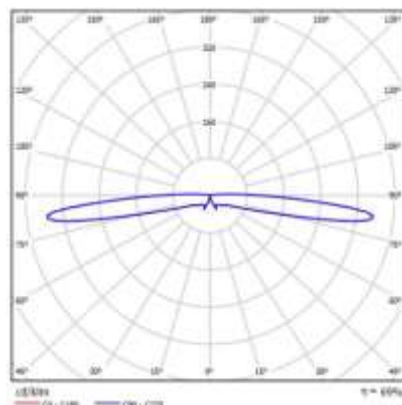
Таблиця 2.2 – Характеристики світлових приладів

Технічні характеристики	BVP150 LED9/WW PSU 10W SWB G2 GM	OptiSpace BCB500 LED56- 4S/740 S DGR
Потужність, Вт	10	35
Світловий потік, лм	900	4900
Світлова віддача, лм/Вт	90	140
Корельована колірна температура, К	3000	4000
Індекс кольоропередачі	>80	>70
Напруга живлення, В	220 – 240	200 – 240
Пусковий струм, А	0,31	22
Коефіцієнт потужності	0,90	0,98
Клас електрозахисту	I	
Ступінь пиловологозахисту	IP65	IP66
Температура експлуатації, °С	-40 ... +50	
Габаритні розміри, мм	107×102×128	270×270×848

Для освітлення алеї виберемо ліхтарні стовпи марки OptiSpace BCB500 LED56-4S/740 S DGR (рис. 2.6), технічні характеристики котрих приведені в табл. 2.2 [7].



а)



б)

Рисунок 2.6 – Ліхтарний стовп марки OptiSpace BCB500 LED56-4S/740 S DGR:

а) – зображення; б) – крива сили світла

Крім цього дані стовпи мають код захисту від механічних ударів IK10, тобто їх корпус витримує енергію удару 20 Дж, а отже такі стовпи є вандалостійкими.

2.3 Вибір нормованих світлотехнічних параметрів системи

зовнішнього архітектурного підсвічування корпусу

В аналітичному розділі шляхом аналізу вимог до систем зовнішнього архітектурного освітлення встановлено, що регламентованою кількісною характеристикою зовнішнього архітектурного освітлення є яскравість фасадів будівель, чисельне значення якої визначається в залежності від категорії міського простору, місця розташування об'єкта, котрий підсвічується, його типу, а також прийому архітектурного підсвічування.

Для підсвічування стін фасаду корпусу виберемо прийом заливаючого освітлення. Оскільки корпус відповідає категорії об'єкта А за освітленням (відповідно із таблицею 8.47 [3]), а об'єкт проектування відноситься до будівель та споруд міського значення, то значення середньої яскравості фасаду має становити не менше, ніж 8 кд/м^2 . Рівномірність освітлення в межах освітлювальної зони, тобто відношення максимальної освітленості до мінімальної повинна становити не більше, ніж 10:1.

Нормованим світлотехнічним параметром системи освітлення алеї є середня освітленість, котра у відповідності із таблицею 8.33 [3] для проїздів і підходів до корпусів та майданчиків повинна становити не менше, ніж 4 лк. Задля уникнення темних плям рекомендується, щоб відношення мінімальної освітленості до середньої було не менше, ніж 1:4.

2.4 Проектування електричної мережі системи зовнішнього архітектурного освітлення корпусу

Живлення світлових приладів архітектурного підсвічування корпусу передбачимо по групових лініях від щита зовнішнього освітлення ЩЗО, котрий розташуємо в кабінеті вахтера корпусу на першому поверсі. Прокладання групових ліній виконаємо в гофрованих трубах по зовнішніх поверхнях стін корпусу (рис. 2.7). З'єднання світлових приладів із груповими лініями виконаємо за допомогою кабелів, прокладених в середині кронштейнів.

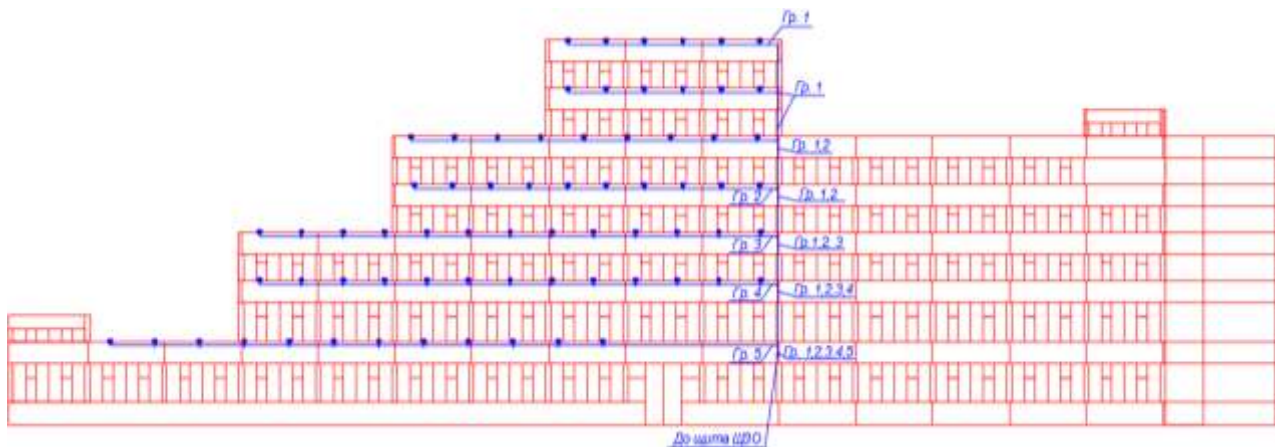


Рисунок 2.7 – Схема електричної мережі системи підсвічування корпусу

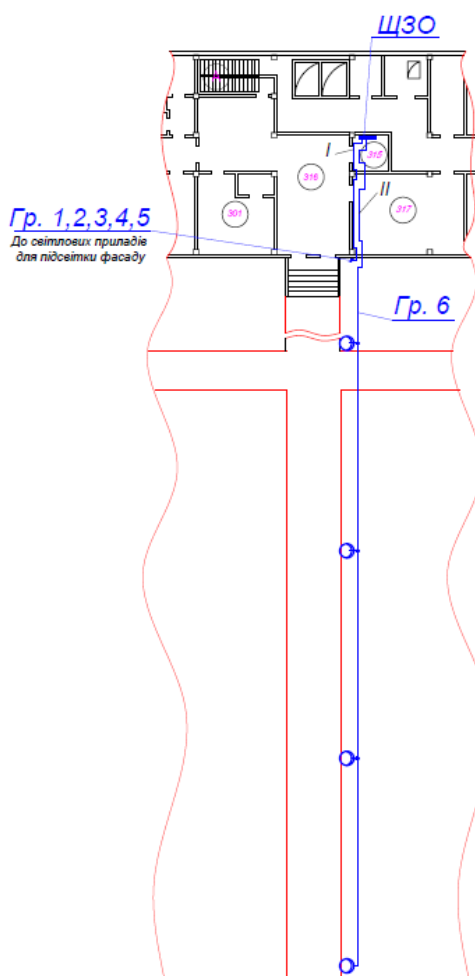


Рисунок 2.7 – Схема електричної мережі системи освітлення алеї

Схему електричної мережі системи освітлення алеї поканано на рис. 2.8. Прокладання кабелів для такої системи освітлення передбачимо в гофрованій трубі під землею на глибині 0,7 м.

Інформацію щодо потужності групових ліній та споживачів приведено в

табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Інформація щодо потужності групових ліній системи освітлення корпусу № 7

Групова лінія	Споживачі	Потужність, кВт	Марка кабелю по умовах механічної міцності
Гр. 1	Світлові прилади для підсвічування парапету та стіни поверху 7	0,120	ВВГнг – 3×1,5
Гр. 2	Світлові прилади для підсвічування стін поверхів 5 та 6	0,190	ВВГнг – 3×1,5
Гр. 3	Світлові прилади для підсвічування стін поверху 4	0,130	ВВГнг – 3×1,5
Гр. 4	Світлові прилади для підсвічування стін поверху 3	0,130	ВВГнг – 3×1,5
Гр. 5	Світлові прилади для підсвічування стін поверху 2	0,120	ВВГнг – 3×1,5
Гр. 6	Світлові прилади для освітлення алеї	0,140	ВБбШв – 3×1,5
ЩЗО		0,830	ВВГнг – 5×1,5

Для живлення світлових приладів підсвітки корпусу та щита ЩЗО використаємо кабелі типу ВВГнг [8], а для світлових приладів системи освітлення алеї – броньований кабелл типу ВБбШв із полівінілхлоридною ізоляцією, використання якого рекомендується при відкритому прокладанні, а також в землі, каналах, тунелях та шахтах [9].

У відповідності із пунктом 1.7.61 [4] у житлових, адміністративних та громадських будівлях вимагається використовувати систему заземлення TN-S (рис. 2.8), тобто систему із розділеними робочим та захисним нулем, в якій розділення забезпечується на трансформаторній підстанції, а подача напруги до трифазних споживачів здійснюється по п'яти провідниках, а до однофазних – по трьох [10]. Тому для групових ліній застосуємо трижильні кабелі, а для лінії, котра живить щит ЩЗО – п'ятижильний кабель.

Відповідно до таблиці 2.1.1 [4] в електричних освітлювальних мережах мінімальна площа перерізу жил кабелів повинна становити не менше, ніж $1,5 \text{ мм}^2$. Тому попередньо вибираємо саме таку площу поперечного перерізу.

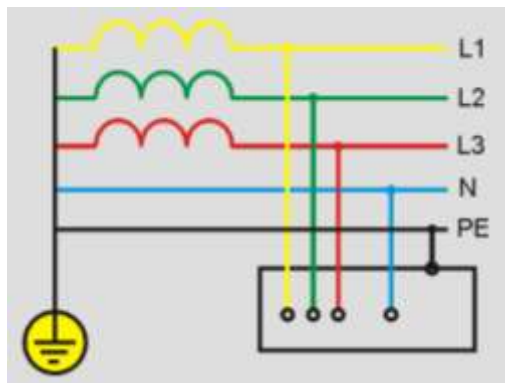


Рисунок 2.8 – Схема розподільчої системи типу TN- S

2.5 Керування зовнішнім архітектурним освітленням корпусу

З метою забезпечення можливості керування роботою системи зовнішнього архітектурного освітлення корпусу № 7 запропоновано систему, схему якої приведено на рис. 2.9.

Реалізація даної схеми передбачає можливість увімкнення та вимкнення світлових приладів як в ручному, так і автоматичному режимах. Перемикання між режимами керування здійснюється за допомогою перемикача SA, котрий може знаходитись у трьох положеннях. При включенні перемикача в положення «Р» (ручного керування) напруга із однієї із фаз подається на кнопки «СТОП» (нормально замкнена) та «ПУСК» (нормально розімкнена). При натисканні кнопки «ПУСК» спрацьовує котушка контактора КМ, внаслідок чого замикаються його силові контакти, що призводить до увімкнення світлових приладів. Вимкнення системи освітлення в данному режимі здійснюється шляхом натискання кнопки «СТОП», внаслідок чого електричне коло розривається.

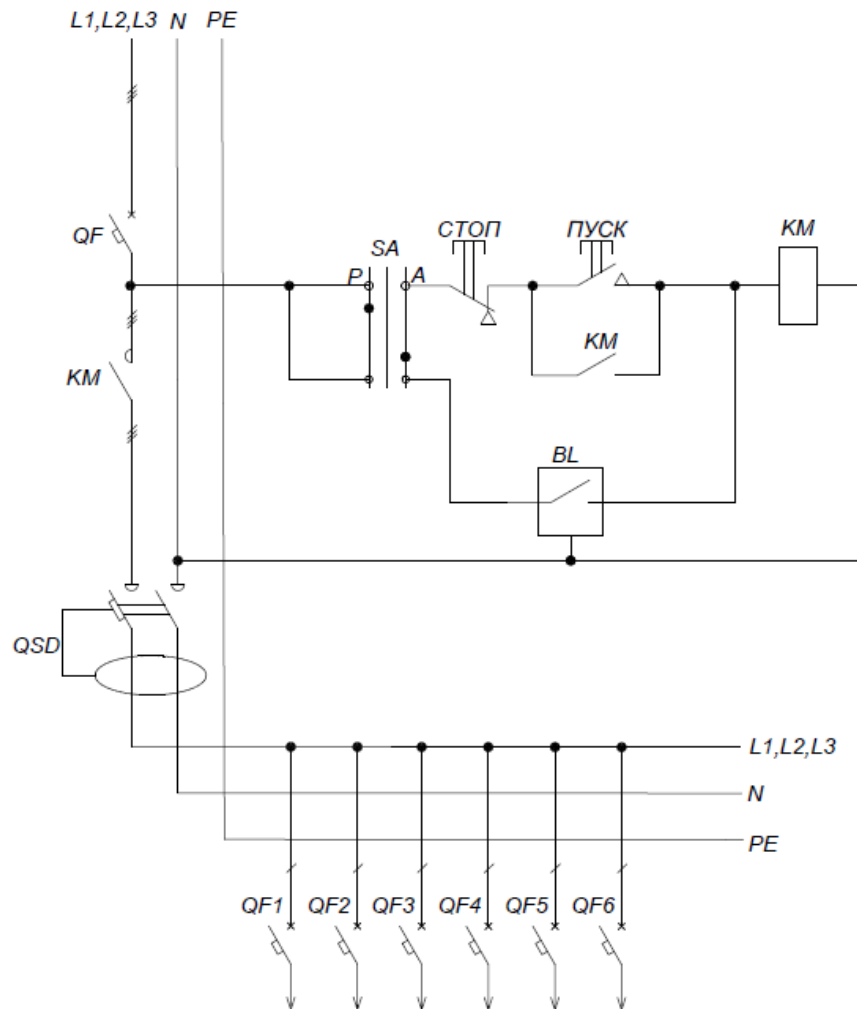


Рисунок 2.9 – Схема керування роботою системи зовнішнього архітектурного освітлення корпусу №7

При перемиканні перемикача SA в положення А напруга від однієї із фаз надходить на датчик освітленості BL, на якому в результаті падіння освітленості у вечірній та нічний час доби відбувається замикання контактів, внаслідок чого напруга надходить на котушку електромагнітного пускача KM і замикаються його силові контакти. В результаті чого відбувається живлення групових ліній. При підвищенні рівня освітленості контакти на датчику BL розмикаються і припиняється подача напруги на котушку контактора KM, внаслідок чого розмикаються його силові контакти.

При включенні перемикача SA у центральне положення подачі напруги ні на кнопковий блок, ні на датчик освітленості, а отже і на котушку контактора КМ не подається, а отже його силові контакти не замикаються.

Оскільки корпуси прожекторів та ліхтарних стовбів виконані із металевого сплаву, то при замиканні на їх металеві деталі та дотику до них людини може відбутись ураження електричним струмом. З метою забезпечення відімкнення системи освітлення при попаданні під напругу людини чи замикання внаслідок пробою ізоляції пропонується використати пристрій захисного вимкнення QSD. Типи пристроїв, які пропонується використати в системі керування роботою системи зовнішнього архітектурного освітлення корпусу приведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Типи пристроїв в системі керування зовнішнього архітектурного освітлення

Позначення на схемі	Найменування	Тип
КМ	Контактор триполюсний 6 А	Schneider Electric TeSys E 3P 6A, 1NC, 220V, AC
BL	Сутнікове реле	Аско-Укрем ДР-302, 10А
SA	Перемикач кулачковий пакетний	АСКО-УКРЕМ ПКТІ SBI 10A/1.631 (1-0-2) 1P
QSD	Пристрій захисного вимкнення	ПЗВ 3ф 25А EATON PF4-25/4/003 25А 293173
ПУСК	Кнопка без фіксації	LAY5-BA31
СТОП	Кнопка без фіксації	SB-7 «Стоп»
QF	Вимикач автоматичний 3-ф	
Q1	Вимикач автоматичний 1-ф	
Q2	Вимикач автоматичний 1-ф	
Q3	Вимикач автоматичний 1-ф	
Q4	Вимикач автоматичний 1-ф	
Q5	Вимикач автоматичний 1-ф	
Q6	Вимикач автоматичний 1-ф	

2.6 Висновки до розділу

1. На підставі аналізу щодо розміщення об'єкта, а також його огляду із різних точок спостереження встановлено, що найбільш доцільнішим є прийом заливаючого освітлення стін правої та центральної частини переднього фасаду.

2. Вибрано значення нормованих параметрів, які необхідно забезпечити системою архітектурного підсвічування корпусу та освітлення алеї, котра веде до нього. В якості світлових приладів для архітектурного підсвічування фасаду запропоновано використати світильники прожекторного типу, а для освітлення алеї – ліхтарні стовпи із напівпровідниковими джерелами світла.

3. В якості проводів електричної освітлювальної мережі запропоновано вибрати кабелі із мідними жилами типу ВВГнг для групових ліній, котрі живлять світлові прилади підсвічування фасаду корпусу та ВБШв – для групової лінії, котра живить ліхтарні стовпи. Попередньо за умовами механічної міцності вибрано перерізи кабелів.

4. Запропоновано систему керування зовнішнім архітектурним освітленням корпусу, котра передбачає можливість увімкнення та вимкнення світлових приладів як в ручному, так і в автоматичному режимах.

3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Моделювання та світлотехнічний розрахунок системи архітектурного підсвічування корпусу

Світлотехнічний розрахунок зовнішнього архітектурного освітлення має деяку специфіку, в порівнянні із розрахунком внутрішнього освітлення, котра полягає у:

- застосуванні як метода коефіцієнта використання, так і точкового методу для визначення мінімальних, середніх та максимальних значень нормованих світлотехнічних параметрів, що може призвести до ускладнення в застосуванні цих методів;

- зниженні точності розрахунків, особливо для об'єктів, де застосовується прожекторне освітлення, пов'язане із неточністю визначення значень сили світла в напрямку до розрахункових точок;

- візуалізації об'єктів, які освітлюються.

Тому для подальших розрахунків та візуалізації було використано пакет DIALux. Проте, перш ніж проводити світлотехнічні розрахунки та моделювання систем освітлення, необхідно створити тривимірну модель освітлювального об'єкту, котру було отримано із використанням пакету 3ds max 7.

Для створення тривимірної моделі корпусу (рис. 3.1) були використані основні прийоми, котрі полягали у [11]:

- створенні та використанні найпростіших примітивів,

- виділенні об'єктів,

- вирівнюванні об'єктів один відносно одного, а також зміні їх положень та розташувань та відображенні у вікні проекцій програмного пакету,

- масштабуванні, переміщенні та обертанні.

Вихідними даними для світлотехнічного розрахунку в пакеті

DIALux були:

- розміщення поверхонь, для яких ведеться розрахунок;
- нормовані значення світлотехнічних параметрів, які потрібно забезпечити на розрахункових поверхнях;
- світлотехнічні характеристики світлових приладів, котрі вносяться в проект освітлення шляхом введення в пакет DIALux спеціальних фотометричних файлів із розширенням *.ies або *.ldt;
- розміщення світлових приладів.

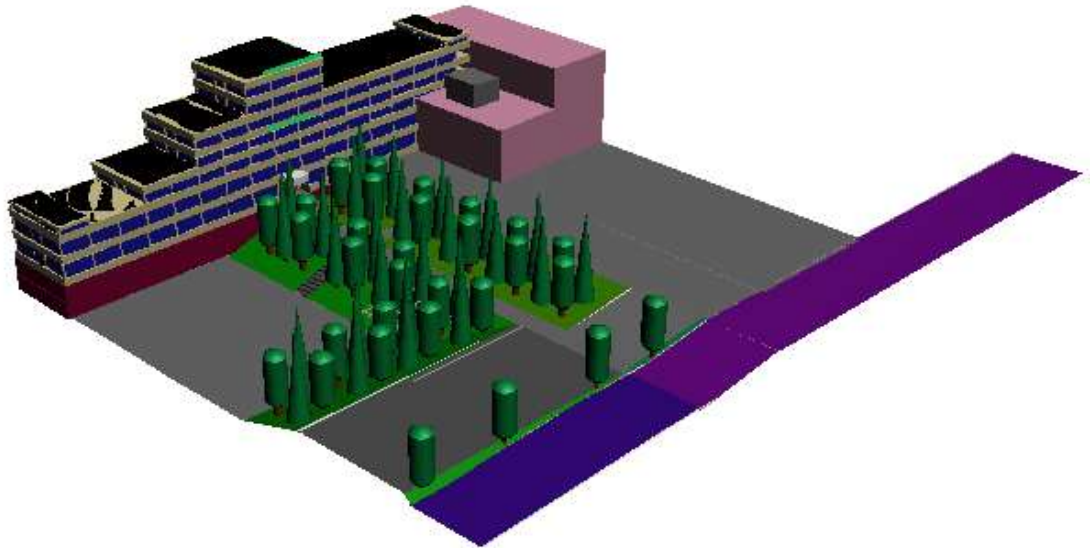


Рисунок 3.1 – Тривимірна модель корпусу № 7 ТНТУ ім. І. Пулюя

Розміщення розрахункових поверхонь показано на рис. 2.4 проектно-конструкторського розділу. Позначимо ці поверхні наступним чином:

- Поверхня 1 – зовнішня поверхня стіни парапету;
- Поверхня 2 – зовнішня поверхня стіни поверху 7;
- Поверхня 3 – зовнішня поверхня стіни поверху 6;
- Поверхня 4 – зовнішня поверхня стіни поверху 5;
- Поверхня 5 – зовнішня поверхня стіни поверху 4;
- Поверхня 6 – зовнішня поверхня стіни поверху 3;

Поверхня 7 – зовнішня поверхня стіни поверху 2;

Поверхня 8 – зовнішня поверхня надпису «Технічний університет»

Поверхня 9 – горизонтальна поверхня, розміщена на рівні землі алеї.

В проектно-конструкторському розділі було встановлено, що нормованим світлотехнічним параметром системи зовнішнього архітектурного освітлення фасаду корпусу є середнє значення яскравості на розрахунковій поверхні, а освітлення алеї – середнє значення освітленості. Оскільки в пакеті DIALux зручніше виконувати світлотехнічний розрахунок на освітленість, то виконаємо перехід від нормованого значення яскравості до освітленості, яку потрібно забезпечити на розрахунковій поверхні. Для поверхонь з дифузним відбиванням зв'язок між освітленістю E та яскравістю L виражається за допомогою формули [11]:

$$E = \pi \frac{L}{\rho} \quad (3.1)$$

де ρ – коефіцієнт відбивання поверхні, котрий відповідно до таблиці 8.48 [3] становить 0,6.

Підставивши значення яскравості та коефіцієнта відбивання у формулу (3.1), отримаємо:

$$E = 3,14 \cdot \frac{8}{0,6} = 41,86 \text{ лк.}$$

Згідно з пунктом 8.6.11 [3] коефіцієнт запасу вибираємо такий, що дорівнює 1,5, а в пакеті DIALux використовуємо його обернене значення MF , котре становить

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

Світлові прилади для зовнішнього архітектурного освітлення

корпусу розмістимо на рівні верхнього краю стін на відстані 1,5 м (рис. 3.2), котра відповідає довжині кронштейна. Напрямимо свічення світлових приладів так, щоб їх максимальна сила світла попадала на середину розрахункової поверхні.

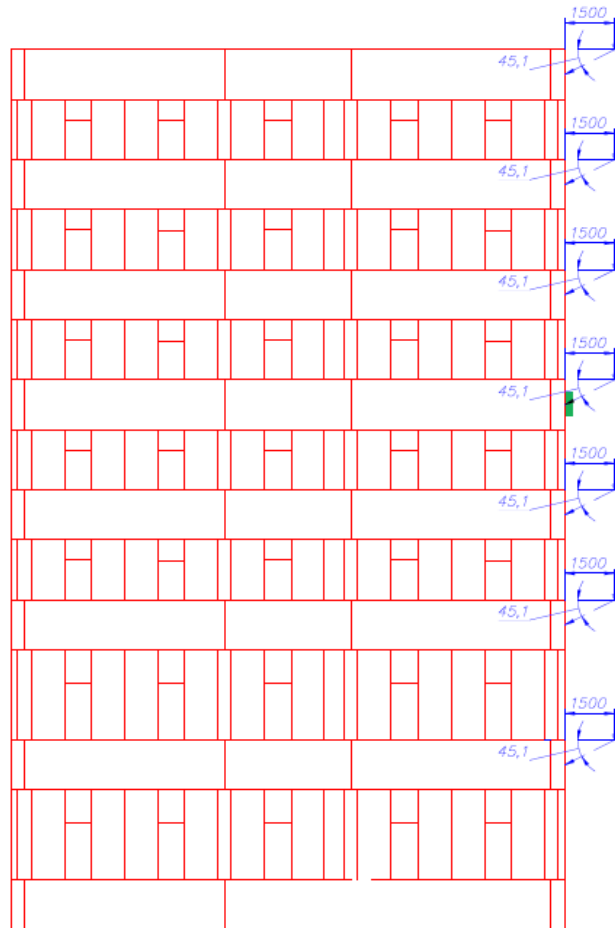


Рисунок 3.2 – Розміщення світлових приладів зовнішнього архітектурного освітлення переднього фасаду корпусу та напрями їх свічення

Розміщення ліхтарних стовпів для освітлення алеї показано на рис. 2.7 проектно-конструкторського розділу.

3.2 Аналіз результатів світлотехнічного розрахунку

Аналіз результатів розрахунку виконаємо на прикладі розрахункової поверхні 4, оскільки на ній ще розміщено надпис «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ». Використання 10 прожекторів, рівномірно розміщених

відносно даної поверхні, дозволяє отримати наступні результати:

середня освітленість – 70 лк;

мінімальна освітленість – 25 лк;

максимальна освітленість – 178 лк;

відношення максимальної освітленості до мінімальної – 7,12.

На поверхні надпису «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»:

середня освітленість – 90 лк;

мінімальна освітленість – 27 лк;

максимальна освітленість – 219 лк;

відношення максимальної освітленості до мінімальної – 8,11.

Графіки розподілу значень освітленості по цих розрахункових поверхнях приведено на рис. 3.3.

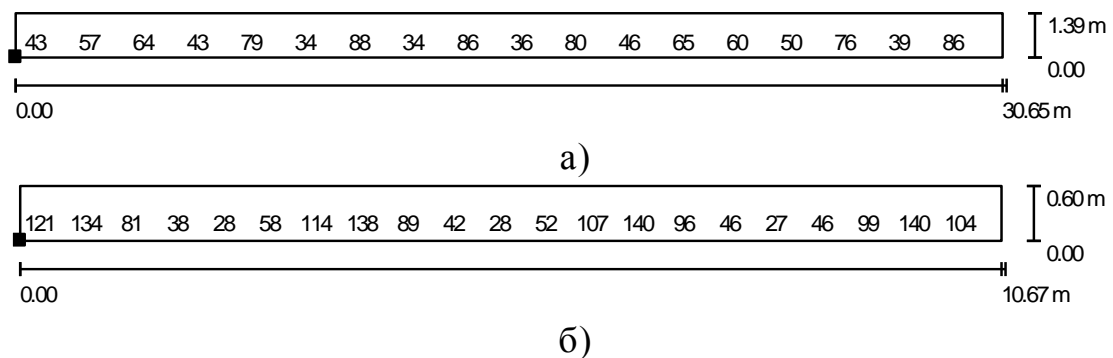


Рисунок 3.3 – Розподіл значень освітленості по розрахункових поверхнях:

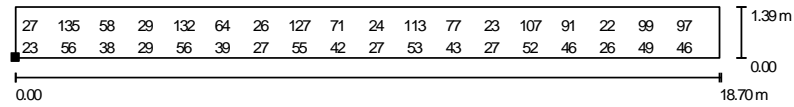
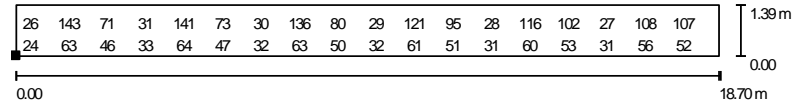
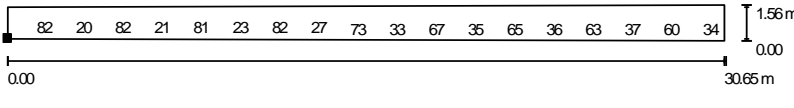
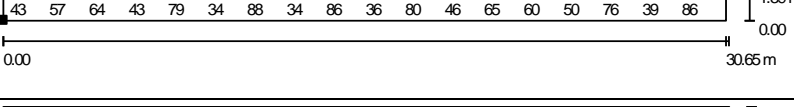
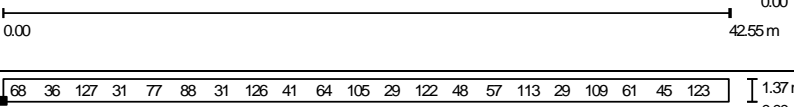
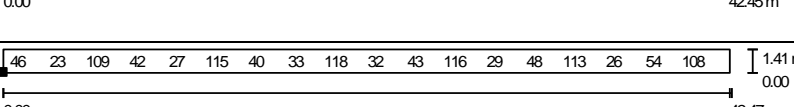
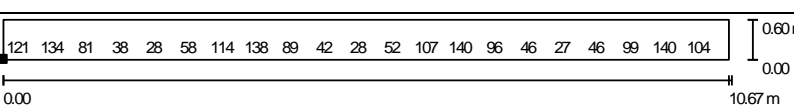

а – по поверхні 1; б – по поверхні надпису «ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ»

Результати розрахунку освітленості на інших поверхнях корпусу приведено в табл. 3.1. Як видно із отриманих результатів така система архітектурного підсвічування будівлі забезпечує необхідні вимоги щодо середньої освітленості, а отже і яскравості та їх рівномірності.

Для освітлення алеї та створення на її поверхні середньої нормованої освітленості 4 лк було використано 4 ліхтарних стовпи. На основі світлотехнічного розрахунку були отримані наступні результати:

середня освітленість – 15 лк;

Таблиця 3.1 – Результати світлотехнічного розрахунку системи зовнішнього архітектурного освітлення корпусу

Розрахункова поверхня	Графік розподілу освітленості по розрахунковій поверхні	$E_{\text{сер, лк}}$	$E_{\text{min, лк}}$	$E_{\text{max, лк}}$	$E_{\text{max}}/E_{\text{min}}$	Кількість СП
Поверхня 1		61	21	169	8,03	6
Поверхня 2		67	23	176	7,65	6
Поверхня 3		60	19	178	9,36	9
Поверхня 4		70	25	178	7,12	10
Поверхня 5		67	19	179	9,42	13
Поверхня 6		69	27	179	6,63	13
Поверхня 7		60	20	176	8,8	12
Поверхня 8		90	27	219	8,11	

мінімальна освітленість – 4,14 лк;

відношення середньої освітленості до мінімальної – 3,62.

Як видно із результатів, така система освітлення забезпечує виконання нормативних вимог щодо освітленості та її рівномірності. Графік розподілу освітленості по поверхні алеї приведено на рис. 3.4.

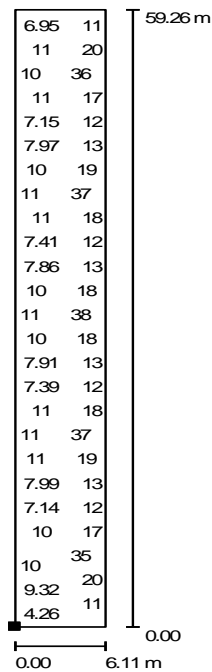


Рисунок 3.4 – Графік розподілу значень освітленості по поверхні алеї

На рис. 3.5 та 3.6 показано візуалізацію архітектурного підсвічування корпусу при спостереженні за об'єктом з точок 2 та 5.

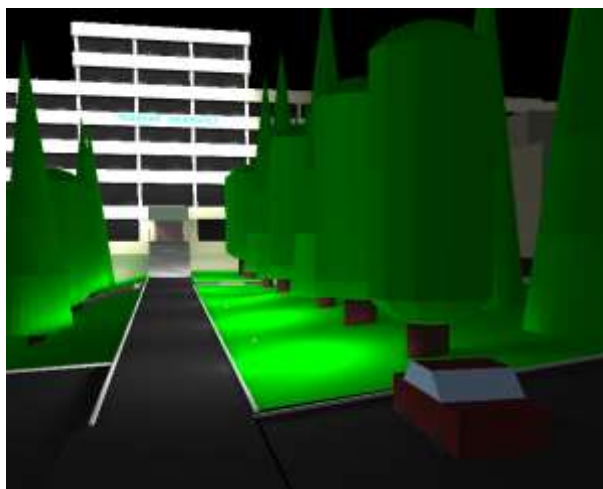


Рисунок 3.5 – Візуалізація сцени архітектурного підсвічування корпусу з точки спостереження 2

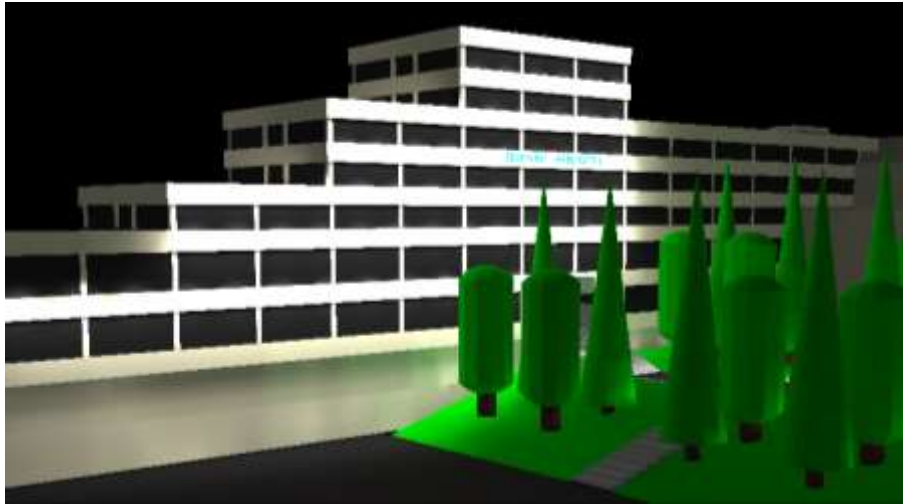


Рисунок 3.6 – Візуалізація сцени архітектурного підсвічування корпусу з точки спостереження 5

3.3 Електротехнічний розрахунок електричної освітлювальної мережі системи архітектурного підсвічування корпусу на мінімум провідникового матеріалу

Площу S поперечного перерізу жил кабеля ділянки електричної мережі на основі розрахунку на мінімум провідникового матеріалу можна визначити, використовуючи формулу [12]:

$$S = \frac{M_{II}}{c \cdot \Delta U}, \quad (3.2)$$

де M_{II} – приведений момент навантаження електроспоживачів, живлення котрих здійснюється через розрахункову ділянку мережі;

c – коефіцієнт, який вибирається в залежності від матеріалу, типу системи мережі та прикладеної напруги і котрий для трифазної ділянки мережі напругою 380/220 В із кабелями з мідними жилами становить 72, а для однофазної ділянки напругою 220 В – 12;

ΔU – допустима втрата напруги, виражена у відсотках від номінальної напруги мережі. Для електричних освітлювальних мереж живлення допустима сума втрат напруги від ввідного розподільчого пристрою до найбільш

віддаленого світлового приладу становить 3 % [4].

Розрахункову схему приведено на рис. 3.7. Розрахунок покажемо на прикладі групової лінії 6.

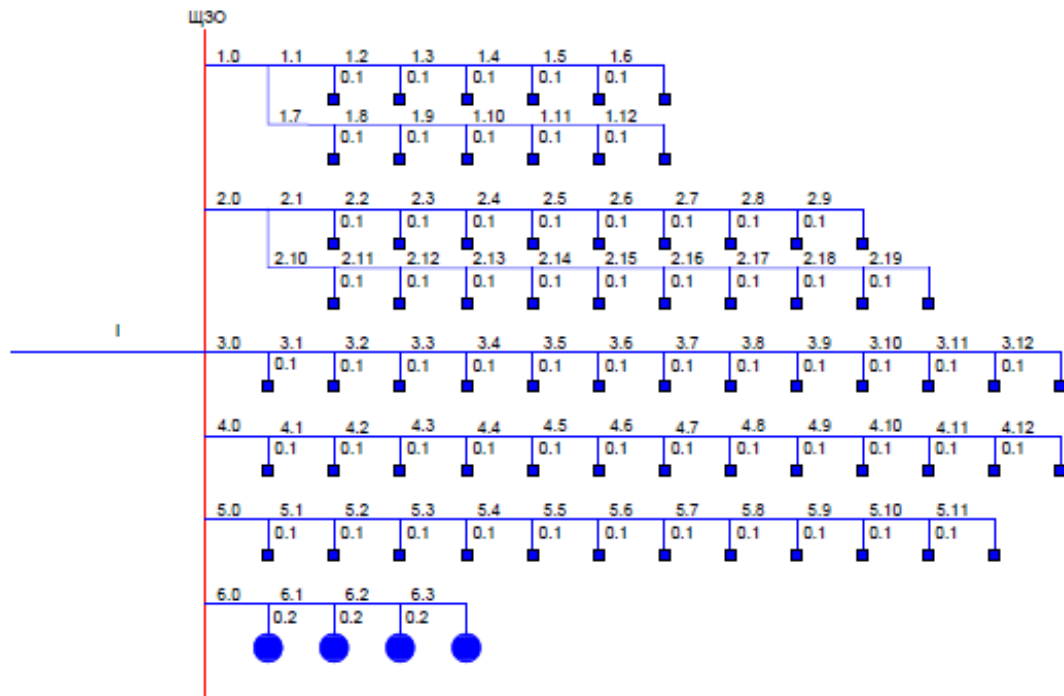


Рисунок 3.7 – Розрахункова схема на мінімум провідникового матеріалу електричної мережі системи архітектурного підсвічування корпусу

Значення моментів електричних навантажень m ділянок I 6.0, 6.1 – 6.3, 0.2 визначимо за формулами:

$$m = P \cdot l, \quad (3.3)$$

де P – потужність світлових приладів, котрі живляться через розрахункову ділянку;

l – довжина розрахункової ділянки.

Підставивши значення потужностей та довжин ділянок у формулу 3.3, отримаємо:

$$m_l = 0,83 \cdot 30,0 = 24,90 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$m_{6,0} = 0,140 \cdot 28,0 = 3,92 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$m_{6.1} = 0,105 \cdot 12,0 = 1,26 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$m_{6.2} = 0,070 \cdot 12,0 = 0,84 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$m_{6.3} = 0,035 \cdot 13,0 = 0,46 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$m_{0.2} = 0,035 \cdot 1,0 = 0,04 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Сумарні моменти $\sum m$ ділянок мережі визначимо за формулою:

$$\sum m = m + \sum m_{+1}, \quad (3.4)$$

де $\sum m_{+1}$ – сумарні моменти ділянок мережі, котрі живляться через розрахункову ділянку.

Підставляючи значення розрахованих моментів у формулу (3.4), отримаємо:

$$\sum m_{6.3} = 0,46 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$\sum m_{6.2} = 0,84 + 0,04 + 0,46 = 1,34 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$\sum m_{6.1} = 1,26 + 0,04 + 1,34 = 2,64 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$\sum m_{6.0} = 3,92 + 0,04 + 2,64 = 6,60 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Аналогічно розраховуємо сумарні моменти навантаження для ділянок 1.0 – 5.0, в результаті чого отримано: $\sum m_{1.0} = 5,250 \text{ кВт} \cdot \text{м}$,
 $\sum m_{2.0} = 8,135 \text{ кВт} \cdot \text{м}$, $\sum m_{3.0} = 5,655 \text{ кВт} \cdot \text{м}$, $\sum m_{4.0} = 5,265 \text{ кВт} \cdot \text{м}$,
 $\sum m_{5.0} = 5,676 \text{ кВт} \cdot \text{м}$.

Формула для обчислення приведенного моменту ділянки I має вигляд [12]:

$$M_{PI} = m_I + \alpha (m_{0.1} + m_{0.2} + m_{0.3} + m_{0.4} + m_{0.5} + m_{0.6}), \quad (3.5)$$

де α – коефіцієнт приведення моментів, значення котрого для трифазної лінії з нульовим проводом, котра живить однофазні лінії 1,83.

Підставивши значення m_I та сумарних моментів навантажень у формулу (3.5), отримаємо:

$$M_{III} = 24,90 + 1,83 \cdot \left(\begin{array}{l} 5,250 + 8,135 + 5,655 + \\ + 5,265 + 5,676 + 6,600 \end{array} \right) = 92,54 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Підставивши значення M_{III} , $\Delta U = 3\%$ та $c = 72$ у формулу (3.2), отримаємо:

$$S_I = \frac{92,54}{72 \cdot 3} = 0,42 \text{ мм}^2,$$

на основі чого для даної ділянки мережі вибираємо переріз жил кабелів $1,5 \text{ мм}^2$ (виходячи з умови механічної міцності).

Реальні розрахункові значення втрат напруги ΔU_p на даній та інших ділянках розрахуємо за формулою:

$$\Delta U_p = \frac{m}{c \cdot S}. \quad (3.6)$$

Підставивши значення для m , c та S у формулу (3.6), отримаємо:

$$\Delta U_{pI} = \frac{24,90}{72 \cdot 1,5} = 0,23 \text{ \%}.$$

Допустима втрата напруги на ділянці 6.1:

$$\Delta U_{д6.1} = 3 - 0,23 = 2,77 \text{ \%}.$$

Розрахункова площа поперечного перерізу цієї ділянки:

$$S_{6.0} = \frac{6,60}{12 \cdot 2,77} = 0,20 \text{ мм}^2,$$

на основі чого для даної ділянки мережі вибираємо переріз жил кабелів $1,5 \text{ мм}^2$.

Реальна розрахункова втрата напруги:

$$\Delta U_{p6.0} = \frac{3,92}{12 \cdot 1,5} = 0,22 \text{ \%}.$$

Для наступних ділянок:

$$\Delta U_{д6.1} = 2,77 - 0,22 = 2,55 \%;$$

$$S_{6.1} = \frac{2,64}{12 \cdot 2,55} = 0,09 \text{ мм}^2, \text{ приймаємо } 1,5 \text{ мм}^2;$$

$$\Delta U_{p6.2} = \frac{1,26}{12 \cdot 1,5} = 0,07 \%$$

$$\Delta U_{д6.2} = 2,55 - 0,07 = 2,48 \%;$$

$$S_{6.2} = \frac{1,34}{12 \cdot 2,48} = 0,05 \text{ мм}^2, \text{ приймаємо } 1,5 \text{ мм}^2;$$

$$\Delta U_{p6.2} = \frac{0,84}{12 \cdot 1,5} = 0,05 \%$$

$$\Delta U_{д6.3} = 2,48 - 0,05 = 2,43 \%;$$

$$S_{6.3} = \frac{0,46}{12 \cdot 2,48} = 0,02 \text{ мм}^2, \text{ приймаємо } 1,5 \text{ мм}^2;$$

$$\Delta U_{p6.3} = \frac{0,46}{12 \cdot 1,5} = 0,03 \%$$

Реальну розрахункову сумарну втрату напруги $\Delta U_{\Sigma I6}$ від ввідного розподільчого пристрою до найвіддаленішого світильника розрахуємо за формулою

$$\Delta U_{\Sigma I6} = \Delta U_{pl} + \Delta U_{p6.0} + \Delta U_{p6.1} + \Delta U_{p6.2} + \Delta U_{p6.3}. \quad (3.7)$$

Підставивши значення реальних розрахункових втрат напруги у формулу (3.7), отримаємо

$$\Delta U_{I6} = 0,23 + 0,22 + 0,07 + 0,05 + 0,03 = 0,59.$$

Розрахунок для ділянок мережі решти групових ліній виконуємо аналогічно. Результати розрахунку приведено в Додатку 1. Як видно із результатів розрахунку, сумарні втрати напруги від ввідного розподільчого пристрою до найвіддаленішого світильника не перевищують 0,60 %, тому для

всіх ділянок електричної мережі системи архітектурного підсвічування корпусу приймаємо площу поперечного перерізу жил кабелів $1,5 \text{ мм}^2$.

3.4 Розрахунок електричної мережі системи архітектурного підсвічування по струму навантаження та вибір апаратів захисту

Значення робочих струмів на ділянках електричної освітлювальної мережі розрахуємо за формулами [12]:

для ділянки, що живить щит освітлення ЩЗО:

$$I_p = \frac{P_p \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi}, \quad (3.8)$$

для групових ліній:

$$I_p = \frac{P_p \cdot 10^3}{U \cdot \cos \varphi}, \quad (3.8)$$

де P_p – сумарна потужність приладів, котрі живляться даною ділянкою;

$U_n = 380 \text{ В}$ – лінійна напруга;

$U_\phi = 220 \text{ В}$ – фазова напруга;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт активної потужності.

Підставивши значення $\cos \varphi = 0,91$ та $P_p = 0,83 \text{ кВт}$ у формулу (3.8), отримаємо:

$$I_p = \frac{0,83 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,91} = 1,38 \text{ А.}$$

Для групової лінії Гр. 1 $\cos \varphi = 0,90$, $P_p = 0,12 \text{ кВт}$, а значення робочого струму становить:

$$I_p = \frac{0,12 \cdot 10^3}{220 \cdot 0,90} = 0,61 \text{ A.}$$

Аналогічно розраховуємо значення робочих струмів і для решти групових ліній. Результати розрахунку показано в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку електричної освітлювальної мережі архітектурного підсвічування по струму навантаження

Споживачі	P_p , кВт	$\cos \varphi = 0,90$	I_p , АІ
ЩО	0,83	0,91	1,38
Гр. 1	0,12	0,90	0,61
Гр. 2	0,19	0,90	0,96
Гр. 3	0,13	0,90	0,66
Гр. 4	0,13	0,90	0,66
Гр. 5	0,12	0,90	0,61
Гр. 6	0,14	0,98	0,65

Як видно із результатів розрахунку, використання кабелів із мідними жилами, площа поперечного перерізу яких становить $1,5 \text{ мм}^2$, в такій системі освітлення допускається, оскільки їх допустимий струм становить 19 А.

Апаратами захисту електричної освітлювальної мережі системи архітектурного підсвічування корпусу виберемо автоматичні вимикачі, значення струму вставок котрих визначимо із умови [3, 4]:

$$I_p \leq I_n \leq I_\delta, \quad (3.10)$$

де I_δ – значення допустимого струму кабелю, котре виходячи із умов нагріву становить 19 А для трижильних та 16 А для п'ятижильних кабелів.

Підставивши чисельні значення струмів I_δ та I_p в нерівність (3.10), отримаємо: для лінії, що живить щит ЩЗО $1,38 \text{ А} \leq I_n \leq 16 \text{ А}$, на основі чого попередньо

вибираємо автоматичний вимикач ВА-2017/С 3р 2А АСКО, а для групових ліній Гр. 1 – Гр. 6 – ВА-2017/С 1р 1А АСКО [13].

Для усунення можливості хибного спрацювання автоматичних вимикачів внаслідок дії пускових струмів, котрі виникають при одночасному включенні великої кількості світлодіодних світильників, визначимо допустиму кількість світлових приладів котру можна підєднувати до одного автомата за умовою [3]:

$$N_{\max} \leq \frac{K \cdot K_k \cdot I_n}{I_{peak}}, \quad (3.11)$$

де K – коефіцієнт кривої спрацювання, значення котрого для вольт-секундної характеристики C дорівнює 5;

K_k – коефіцієнт нерозчеплювання;

I_n – номінальне значення струму апарату захисту;

I_{peak} – значення пускового струму одного світлодіодного світильника.

По паспортних даних визначаємо, що для світлодіодного прожектора BVP150 LED9/WW PSU 10W SWB G2 GM: $I_{peak} = 3,1$ А, а тривалість імпульсу $\Delta t = 0,45$ мс.

Для ліхтарного стовпа OptiSpace BCB500 LED56-4S/740 S DGR $I_{peak} = 22$ А, $\Delta t = 0,29$ мс.

З графіка залежності, приведенного на рис. 3.8 визначаємо, що для групових ліній з прожекторами BVP150 LED9/WW PSU 10W SWB G2 GM $K_k = 5,85$, а для групової лінії із ліхтарними стовпами OptiSpace BCB500 LED56-4S/740 S DGR – $K_k = 9,72$.

Підставивши значення K , K_k , I_{peak} , в нерівність (3.11), визначимо допустиму максимальну кількість світлових приладів, які можна під'єднувати до одного автоматичного з номінальними значеннями струму апарату захисту 1 А, 2 А, 3 А, 4 А, 5 А, 6 А, 10 А та 16 А. Результати розрахунку приведено в табл. 3.3.

Враховуючи кількість світлових приладів кожної групи остаточно вибираємо автоматичні вимикачі: для Гр.1 – ВА-2017/С 1р 2А АСКО, Гр.2 – ВА-2017/С 1р 3А АСКО, Гр.3 – ВА-2017/С 1р 2А АСКО, Гр.4 – ВА-2017/С 1р 2А АСКО, Гр.5 – ВА-2017/С 1р 2А АСКО, Гр.6 – ВА-2017/С 1р 2А АСКО, ліня, що живить ЩЗО - ВА-2017/С 3р 4А АСКО.

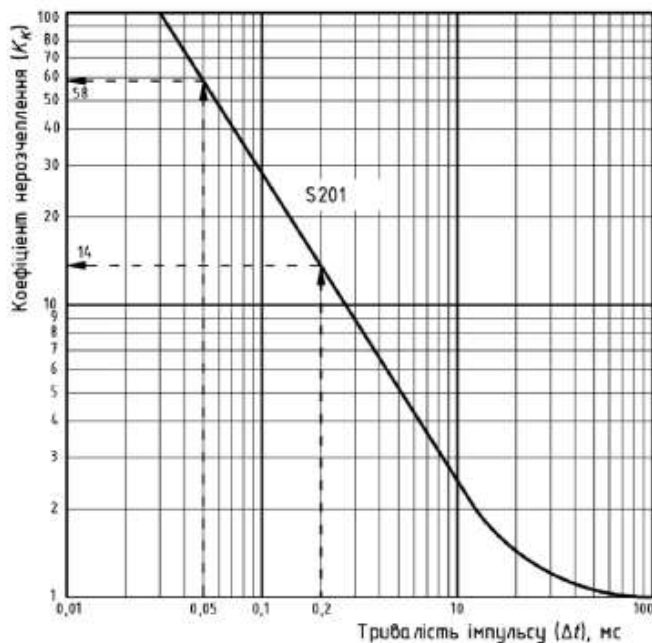


Рисунок 3.8 – Залежність коефіцієнта нерозчеплювання від тривалості імпульсу

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку максимальної допустимої кількості світлових приладів на один автоматичний вимикач

Тип світлового приладу	Струм апарату захисту, А							
	1	2	3	4	5	6	10	16
BVP150 LED9/WW PSU 10W SWB G2 GM	9	18	28	37	47	56	94	151
OptiSpace VCB500 LED56-4S/740 S DGR	2	4	4	8	11	13	22	35

3.5 Висновки до розділу

1. На основі моделювання та світлотехнічного розрахунку системи архітектурного підсвічування будівлі визначено необхідну кількість світлових

приладів, необхідних для забезпечення нормативних значень освітленості та яскравості. Встановлено, що для забезпечення середньої яскравості 8 кд/м^2 на поверхнях стін переднього фасаду корпусу необхідно використати 83 прожектора марки BVP150 LED9/WW PSU 10W SWB G2 GM, розміщених навпроти верхнього краю стін на відстані 1,5 м. Для забезпечення освітленості на поверхні алеї необхідно використати 4 ліхтарних стовпи типу OptiSpace VCB500 LED56-4S/740 S DGR, розміщених на відстані 1 м від краю алеї.

2. На підставі розрахунку електричної освітлювальної на мінімум провідникового матеріалу та по струму навантаження встановлено, що при використанні мідних кабелів із жилами з площею поперечного перерізу $1,5 \text{ мм}^2$ втрати напруги не перевищуватимуть 0,60 %, а робочий струм – 1,4 А.

3. На основі отриманих значень робочого струму здійснено вибір апаратів захисту електричної освітлювальної мережі з виключенням можливості хибного спрацьовування автоматичних вимикачів внаслідок дії пускових струмів.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аналіз заходів безпеки при використанні електрообладнання та електроустановок в громадських спорудах

Виділяють три системи засобів та заходів забезпечення електробезпеки:

- система технічних засобів та заходів;
- система електрозахисних засобів;
- система організаційно-технічних заходів та засобів; система технічних засобів електробезпеки. Технічні засоби і заходи з електробезпеки реалізуються в конструкції електроустановок при їх розробці, виготовленні та монтажі відповідно до чинних нормативів.

За своїми функціями технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки діляться на дві групи:

- технічні заходи та засоби забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок;
- технічні заходи та засоби забезпечення електробезпеки при аварійних режимах роботи електроустановок.

Основні технічні засоби та заходи забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок включають:

- ізоляцію струмовідних частин;
- недоступність струмовідних частин;
- блокування безпеки;
- засоби орієнтації в електроустановках;
- виконання електроустановок, ізольованих від землі;
- захисне розділення електричних мереж;
- компенсацію ємкісних струмів замикання на землю;
- вирівнювання потенціалів.

Із метою підвищення рівня безпеки, залежно від призначення, умов експлуатації та конструкції, в електроустановках застосовується одночасно більшість з перерахованих технічних засобів та заходів.

Ізоляція струмовідних частин. Забезпечує технічну працездатність електроустановок, зменшує вірогідність попадань людини під напругу, замикань на землю і на корпус; електроустановок, зменшує струм через людину при доторканні до неізолюваних струмовідних частин в електроустановках, що живляться від ізолюваної від землі мережі за умови відсутності фаз з пошкодженою ізоляцією.

Статистичні дані щодо електротравматизму свідчать, що більшість електротравм пов'язані з дотиком до струмовідних частин електроустановок (біля 56 %). Якщо в установках до 1000 В небезпека електротравм пов'язана, переважно, з дотиком до неізолюваних струмовідних елементів електроустановок, то при напрузі більше 1000В електротравми можливі і при дотику до ізолюваних струмовідних частин. Основними заходами забезпечення недоступності струмовідних частин є застосування захисних огорожень, закритих комутаційних апаратів (пакетних вимикачів, комплектних пускових пристроїв, дистанційних електромагнітних приладів управління споживачами електроенергії тощо), розміщення неізолюваних струмовідних частин на недосяжній, для ненавмисного доторкання до них інструментом, висоті, різного роду пристосуваннями тощо, обмеження доступу сторонніх осіб в електротехнічні приміщення.

Засоби орієнтації в електроустановках дають можливість персоналу чітко орієнтуватись при монтажі, виконанні ремонтних робіт і запобігають помилковим діям. До засобів орієнтації в електроустановках належать: маркування частин електрообладнання, проводів і струмопроводів (шин), бирки на проводах, забарвлення неізолюваних струмовідних частин, ізоляції, внутрішніх поверхонь електричних шаф і щитів керування, попереджувальні сигнали, написи, таблички, комутаційні схеми, знаки високої електричної напруги, знаки постійно попереджувальні тощо.

Попереджувальні сигнали використовують з метою забезпечення надійної інформації про перебування електрообладнання під напругою, про стан ізоляції та пристроїв захисту, про небезпечні відхилення режимів роботи від номінальних тощо. Світловою сигналізацією обладнуються в електроустановках напругою понад 1000 В комірки роз'єднувачів, масляних вимикачів, трансформаторів. У ввідних шафах комплектних трансформаторних під станцій, незалежно від величини напруги, передбачається поперед жувальна сигналізація станів "Увімкнено" і "Вимкнено".

Поява напруги на неструмовідних частинах електроустановок пов'язана з пошкодженням ізоляції і замиканням на корпус. Основними технічними заходами щодо попередження електротравм при замиканнях на корпус є захисне заземлення, занулення, захисне відключення. Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання з землею чи її еквівалентом металевих неструмовідних частин електроустановок, які можуть опинитись під напругою.

Захисному заземленню підлягають:

- електроустановки напругою 380 В і більше змінного струму і 440 В і більше постійного струму незалежно від категорії приміщень (умов) щодо безпеки електротравм;

- електроустановки напругою більше 42 В змінного струму і більше 110 В постійного струму в приміщеннях з підвищеною і особливою безпекою електротравм, а також електроустановки поза приміщеннями;

- всі електроустановки, що експлуатуються у вибухонебезпечних зонах (з метою попередження вибухів).

Відповідно до зазначеного заземлюються:

- неструмовідні частини електричних машин, апаратів, трансформаторів;
- каркаси розподільчих щитів, шаф, щитів управління, а також їх знімні частини і частини, що відкриваються, якщо на них встановлено електрообладнання напругою більше 42 В змінного і більш 110В постійного струму.

- металеві конструкції розподільчих пристроїв, металеві кабельні коробки й інші кабельні конструкції, металеві кабельні муфти, металеві гнучкі рукави і труби електропроводки, електричні світильники;
- металоконструкції виробничого обладнання, на якому є споживачі електроенергії;
- опори повітряних ліній електропередач тощо.

Занулення – це навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих неструмовідних частин, які можуть опинитись під напругою в результаті пошкодження ізоляції.

Призначення захисного відключення – відключення електроустановки при пошкодженні ізоляції і переході напруги на неструмовідні її елементи. Застосовується в доповнення до захисного заземлення (занулення) для забезпечення надійного захисту, перш за все, в умовах особливої небезпеки електротравм.

4.2 Оцінка ефективності заходів, пов'язаних із забезпеченням техніки безпеки та охорони праці

Економічне значення охорони праці та техніки безпеки оцінюється за результатами, отриманими при зміні соціальних показників шляхом впровадження заходів з покращення умов праці: підвищення продуктивності праці; зниження непродуктивних витрат часу і праці; збільшення фонду робочого часу; зниження витрат, пов'язаних з плинністю кадрів через умови праці, тощо. Збільшення фонду робочого часу і ефективність використання обладнання досягається шляхом зниження простоїв протягом зміни внаслідок погіршення самопочуття через умови праці та мікротравми. При комплексній дії на людину декількох шкідливих виробничих чинників простої на робочому місці можуть досягати 20...40% за зміну через виробничий травматизм та погане самопочуття. Зростання непродуктивних витрат часу, а значить, і праці, обумовлюється також поганою організацією робочих місць: без урахування

органометричних вимог виникає необхідність виконання зайвих рухів та докладання додаткових фізичних зусиль через незручне положення, невдале розташування органів управління обладнанням і невдале конструктивне оформлення робочих місць. В результаті поліпшення умов праці нормалізується психологічний клімат в трудовому колективі, підвищується налагодженість в роботі, зростає продуктивність праці. Збільшення фонду робочого часу досягається скороченням цілодобових втрат на виробничий травматизм та неявки на роботу. Шкідливі умови праці суттєво впливають не тільки на виникнення професійних захворювань, а й на виникнення і тривалість загальних захворювань.

Ефективність заходів щодо поліпшення умов і охорони праці оцінюється, в першу чергу, за показниками соціальної ефективності, які передбачають створення умов праці, що відповідають санітарним нормам і вимогам правил безпеки. Покращення умов і охорони праці призводить до зменшення кількості виробничих травм, загальної і професійної захворюваності; до скорочення чисельності працівників, що працюють в умовах, які не відповідають санітарно-гігієнічним нормам; зменшення кількості випадків виходу на пенсію за інвалідністю внаслідок травматизму чи професійної захворюваності; скорочення плинності кадрів через незадовільні умови праці тощо.

Для оцінки соціальної ефективності заходів з удосконалення умов та охорони праці використовуються такі показники: скорочення кількості робочих місць, що не відповідають вимогам нормативних актів щодо безпеки праці; скорочення чисельності працівників, які працюють в умовах, що не відповідають санітарним нормам; збільшення кількості машин, механізмів та виробничих приміщень, приведених до вимог норм охорони праці; зменшення коефіцієнта частоти травматизму; зменшення коефіцієнта тяжкості травматизму; зменшення коефіцієнта частоти професійних захворювань через несприятливі умови праці; зменшення коефіцієнта тяжкості захворювання; зменшення кількості випадків виходу на пенсію за інвалідністю внаслідок

травматизму чи професійного захворювання; скорочення плинності кадрів через несприятливі умови праці.

Показники соціальної і соціально-економічної ефективності використовуються для визначення фактичного рівня питомих витрат, необхідних для зменшення кількості працюючих у незадовільних умовах, зниження рівня травматизму, захворюваності, плинності кадрів на різних підприємствах та в економіці в цілому.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. На основі аналізу характеристик об'єкта проектування, а також прийомів, засобів зовнішнього архітектурного освітлення та вимог до нього визначено мету та завдання даної роботи

2. На підставі аналізу щодо розміщення об'єкта, а також його огляду із різних точок спостереження встановлено, що найбільш доцільнішим є прийом заливаючого освітлення стін правої та центральної частини переднього фасаду.

3. Вибрано значення нормованих параметрів, які необхідно забезпечити системою архітектурного підсвічування корпусу та освітлення алеї, котра веде до нього. В якості світлових приладів для архітектурного підсвічування фасаду запропоновано використати світильники прожекторного типу, а для освітлення алеї – ліхтарні стовпи із напівпровідниковими джерелами світла.

4. В якості проводів електричної освітлювальної мережі запропоновано вибрати кабелі із мідними жилами типу ВВГнг для групових ліній, котрі живлять світлові прилади підсвічування фасаду корпусу та ВБШв – для групової лінії, котра живить ліхтарні стовпи. Попередньо за умовами механічної міцності вибрано перерізи жил кабелів.

5. На основі моделювання та світлотехнічного розрахунку системи архітектурного підсвічування будівлі визначено необхідну кількість світлових приладів, необхідних для забезпечення нормативних значень освітленості та яскравості. Встановлено, що для забезпечення середньої яскравості 8 кд/м² на поверхнях стін переднього фасаду корпусу необхідно використати 83 прожектора марки BVP150 LED9/WW PSU 10W SWB G2 GM, розміщених навпроти верхнього краю стін на відстані 1,5 м. Для забезпечення освітленості на поверхні алеї необхідно використати 4 ліхтарних стовпи типу OptiSpace BCB500 LED56-4S/740 S DGR, розміщених на відстані 1 м від краю алеї.

6. На підставі розрахунку електричної освітлювальної на мінімум провідникового матеріалу та по струму навантаження встановлено, що при використанні мідних кабелів із жилами з площею поперечного перерізу 1,5 мм²

втрати напруги не перевищуватимуть 0,60 %, а робочий струм – 1,4 А.

7. На основі отриманих значень робочого струму здійснено вибір апаратів захисту електричної освітлювальної мережі з виключенням можливості хибного спрацьовування автоматичних вимикачів внаслідок дії пускових струмів.

8. Запропоновано систему керування зовнішнім архітектурним освітленням корпусу, котра передбачає можливість увімкнення та вимкнення світлових приладів як в ручному, так і в автоматичному режимах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Жаган В. Ілюмінація об'єктів / пер. з пол. – Львів: ЕКОінформ, 2006. – 242 с
2. Лісна О.І. Декоративно-художнє освітлення архітектурного середовища: навч. посібник/ О. І. Лісна; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2010. – 275 с.
3. ДБН В.2.5 – 28 – 2018. Природне і штучне світлення.– К.: Мінрегіон України, 2018.– 137 с.
4. Правила улаштування електроустановок. – К.: Мінрегіонвугілля України, 2017. – 617 с.
5. Джерела світла : навч. посібник / К. І. Суворова, Л. Д. Гуракова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 110 с.
6. Essential SmartBright G4 LED Floodlight BVP150. URL: https://www.lighting.philips.ua/api/assets/v1/file/Signify/content/fp911401810283-pss-ru_ua/911401810283_EU.ru_UA.PROF.FP.pdf/(дата звернення: 05.06.2023).
7. OptiSpace BCB500 LED56-4S/740 S DGR. URL: https://www.lighting.philips.ua/api/assets/v1/file/PhilipsLighting/content/fp912300024101-pss-ru_ua/912300024101_EU.ru_UA.PROF.FP.pdf/ (дата звернення: 06.06.2023).
8. Кабельний завод «Тумен». Каталог кабельно-провідникової продукції). URL: <https://www.twomen.odessa.ua/downloads/catalogue.pdf> (дата звернення: 05.06.2023).
9. Силовий кабель ВБШВ (нг, нгд). URL: <https://vse-e.com/ua/kabel-i-provod/marki-kabelia/vbbshv-ng-ngd> (дата звернення: 06.06.2023).
10. Системи заземлення TN-S, TN-C, TNC-S, TT, IT. URL: <https://energyall.com.ua/sistemy-zazemleniya-tn-s-tn-c-tnc-s-tt-it/> / (дата звернення: 10.06.2023).

11. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни 3D моделювання світлового середовища / укл. : Я. М. Осадца , І. В. Белякова. - Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя. – 2017. – 26 с.

12. Осадца Я.М. Курс лекцій з дисципліни “Світлотехнічні установки та системи” для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопіль: ТНТУ, 2020. 58 с.

13. Автоматичні вимикачі серії УКРЕМ ВА-2017 URL: https://www.acko.ua/e-store/xml_catalog/avtomatichni_vimikachi_serii_ukrem_va_2017/

(дата звернення: 12.06.2023)

ДОДАТОК А

Таблиця А1 – Результати розрахунку електричної освітлювальної мережі на мінімум провідникового матеріалу

№ ділянки	l , м	P_p , кВт	m , кВт·м	M_p , кВт·м	ΔU_d , %	S_p , мм ²	S_p , мм ²	ΔU_p , %
I	30,0	0,830	24,900	92,537	3,000	0,43	1,5	0,23
№ ділянки	l , м	P_p , кВт	m , кВт·м	Σm , кВт·м	ΔU_d , %	S_p , мм ²	S_p , мм ²	ΔU_p , %
1.0	30,0	0,120	3,600	5,250	2,77	0,16	1,5	0,20
1.1	2,0	0,060	0,120	0,735	2,57	0,02	1,5	0,01
1.2	3,5	0,050	0,175	0,600	2,56	0,02	1,5	0,01
1.3	3,5	0,040	0,140	0,410	2,55	0,01	1,5	0,01
1.4	3,5	0,030	0,105	0,255	2,55	0,01	1,5	0,01
1.5	3,5	0,020	0,070	0,135	2,54	0,00	1,5	0,00
1.6	5,0	0,010	0,050	0,050	2,54	0,00	1,5	0,00
1.7	5,0	0,060	0,300	0,915	2,57	0,03	1,5	0,02
1.8	3,5	0,050	0,175	0,600	2,55	0,02	1,5	0,01
1.9	3,5	0,040	0,140	0,410	2,54	0,01	1,5	0,01
1.10	3,5	0,030	0,105	0,255	2,54	0,01	1,5	0,01
1.11	3,5	0,020	0,070	0,135	2,53	0,00	1,5	0,00
1.12	5,0	0,010	0,050	0,050	2,53	0,00	1,5	0,00
2.0	24,0	0,190	4,560	8,135	2,77	0,24	1,5	0,25
2.1	1,5	0,090	0,135	1,350	2,52	0,04	1,5	0,01
2.2	3,0	0,080	0,240	1,200	2,51	0,04	1,5	0,01
2.3	3,0	0,070	0,210	0,945	2,50	0,03	1,5	0,01
2.4	3,0	0,060	0,180	0,720	2,48	0,02	1,5	0,01
2.5	3,0	0,050	0,150	0,525	2,47	0,02	1,5	0,01
2.6	3,0	0,040	0,120	0,360	2,47	0,01	1,5	0,01
2.7	3,0	0,030	0,090	0,225	2,46	0,01	1,5	0,01
2.8	3,0	0,020	0,060	0,120	2,45	0,00	1,5	0,00
2.9	4,5	0,010	0,045	0,045	2,45	0,00	1,5	0,00
2.10	5,0	0,100	0,500	2,225	2,52	0,07	1,5	0,03
2.11	3,5	0,090	0,315	1,710	2,49	0,06	1,5	0,02
2.12	3,5	0,080	0,280	1,380	2,47	0,05	1,5	0,02
2.13	3,5	0,070	0,245	1,085	2,46	0,04	1,5	0,01
2.14	3,5	0,060	0,210	0,825	2,44	0,03	1,5	0,01
2.15	3,5	0,050	0,175	0,600	2,43	0,02	1,5	0,01
2.16	3,5	0,040	0,140	0,410	2,42	0,01	1,5	0,01
2.17	3,5	0,030	0,105	0,255	2,41	0,01	1,5	0,01
2.18	3,5	0,020	0,070	0,135	2,41	0,00	1,5	0,00
2.19	5,0	0,010	0,050	0,050	2,40	0,00	1,5	0,00

Продовження табл. А1

№ ділянки	l , м	P_p , кВт	m , кВт·м	Σm , кВт·м	ΔU_d , %	S_p , мм ²	S_p , мм ²	ΔU_p , %
3.0	21,0	0,130	2,730	5,655	2,77	0,17	1,5	0,15
3.1	3,5	0,120	0,420	2,910	2,62	0,09	1,5	0,02
3.2	3,5	0,110	0,385	2,475	2,59	0,08	1,5	0,02
3.3	3,5	0,100	0,350	2,075	2,57	0,07	1,5	0,02
3.4	3,5	0,090	0,315	1,710	2,55	0,06	1,5	0,02
3.5	3,5	0,080	0,280	1,380	2,54	0,05	1,5	0,02
3.6	3,5	0,070	0,245	1,085	2,52	0,04	1,5	0,01
3.7	3,5	0,060	0,210	0,825	2,51	0,03	1,5	0,01
3.8	3,5	0,050	0,175	0,600	2,50	0,02	1,5	0,01
3.9	3,5	0,040	0,140	0,410	2,49	0,01	1,5	0,01
3.10	3,5	0,030	0,105	0,255	2,48	0,01	1,5	0,01
3.11	3,5	0,020	0,070	0,135	2,47	0,00	1,5	0,00
3.12	5,0	0,010	0,050	0,050	2,47	0,00	1,5	0,00
4.0	18,0	0,130	2,340	5,265	2,77	0,16	1,5	0,13
4.1	3,5	0,120	0,420	2,910	2,64	0,09	1,5	0,02
4.2	3,5	0,110	0,385	2,475	2,62	0,08	1,5	0,02
4.3	3,5	0,100	0,350	2,075	2,59	0,07	1,5	0,02
4.4	3,5	0,090	0,315	1,710	2,58	0,06	1,5	0,02
4.5	3,5	0,080	0,280	1,380	2,56	0,04	1,5	0,02
4.6	3,5	0,070	0,245	1,085	2,54	0,04	1,5	0,01
4.7	3,5	0,060	0,210	0,825	2,53	0,03	1,5	0,01
4.8	3,5	0,050	0,175	0,600	2,52	0,02	1,5	0,01
4.9	3,5	0,040	0,140	0,410	2,51	0,01	1,5	0,01
4.10	3,5	0,030	0,105	0,255	2,50	0,01	1,5	0,01
4.11	3,5	0,020	0,070	0,135	2,49	0,00	1,5	0,00
4.12	5,0	0,010	0,050	0,050	2,49	0,00	1,5	0,00
5.0	26,0	0,120	3,120	5,676	2,77	0,17	1,5	0,17
5.1	3,6	0,110	0,396	2,541	2,60	0,08	1,5	0,02
5.2	3,6	0,100	0,360	2,130	2,57	0,07	1,5	0,02
5.3	3,6	0,090	0,324	1,755	2,55	0,06	1,5	0,02
5.4	3,6	0,080	0,288	1,416	2,54	0,05	1,5	0,02
5.5	3,6	0,070	0,252	1,113	2,52	0,04	1,5	0,01
5.6	3,6	0,060	0,216	0,846	2,51	0,03	1,5	0,01
5.7	3,6	0,050	0,180	0,615	2,49	0,02	1,5	0,01
5.8	3,6	0,040	0,144	0,420	2,48	0,01	1,5	0,01
5.9	3,6	0,030	0,108	0,261	2,48	0,01	1,5	0,01
5.10	3,6	0,020	0,072	0,138	2,47	0,00	1,5	0,00
5.11	5,1	0,010	0,051	0,051	2,47	0,00	1,5	0,00
6.0	28,0	0,140	3,920	6,580	2,77	0,20	1,5	0,22
6.1	12,0	0,105	1,260	2,625	2,55	0,09	1,5	0,07

Продовження табл. А1

№ ділянки	l , м	P_p , кВт	m , кВт·м	Σm , кВт·м	ΔU_d , %	S_p , мм ²	S_p , мм ²	ΔU_p , %
6.2	12,0	0,070	0,840	1,330	2,48	0,04	1,5	0,05
6.3	13,0	0,035	0,455	0,455	2,44	0,02	1,5	0,03