

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Проектування світлотехнічних об'єктів для рекламного освітлення

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи ЕТм-61

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка

та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Турдай М.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Белякова І.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Мовчан Л.Т.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Коваль В.П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Габрусєва І.Ю.

(прізвище та ініціали)

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

Факультет Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«__» _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня _____ магістр
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Турдаю Михайлу Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування світлотехнічних об'єктів для рекламного освітлення

Керівник роботи Белякова Ірина Володимирівна, к.т.н., доцент

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

Затверджені наказом ректора від «__» _____ року № _____.

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Відомості про види та засоби рекламного освітлення.

Вимоги до рекламного освітлення

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітичний розділ.

2. Розрахунково-дослідницький розділ.

3. Проектно-конструкторський розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

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

1. Види рекламного освітлення

2. Результати моделювання рекламного освітлення

3. Результати світлотехнічного розрахунку світлових рекламних об'єктів

4. Результати електротехнічного розрахунку світлових рекламних об'єктів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Гурик О. Я. к.т.н., доцент		
	Клепчик В.М., старший викладач		
Нормоконтроль	Мовчан Л.Т. к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ		
2	Аналітичний розділ		
3	Проектно-конструкторський розділ		
4	Розрахунково-дослідницький розділ		
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		
6	Висновки		
7	Оформлення пояснювальної записки		
8	Оформлення графічної частини		

Студент _____
(підпис)

Турдай М.М.
_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Белякова І.В.
_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Турдай М.М. Проектування світлотехнічних об'єктів для рекламного освітлення. 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТм-61. – Тернопіль: ТНТУ, 2024.

В роботі запропоновано розроблено та виконано порівняння по встановленій потужності засобів рекламного освітлення.

Робота складається із розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань та додатків. Обсяг розрахунково-пояснювальної записки – 70 аркушів формату А4, з них 3 аркуші додатків. Обсяг графічної частини – ___ аркушів формату А4 (слайдів).

Ключові слова: крива сили світла, дифузне пропускання, світловий потік, коефіцієнт відбивання, яскравість.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Аналіз видів світлової реклами	8
1.2 Технічні вимоги до об'єктів зовнішньої реклами	13
1.3 Світлотехнічні вимоги до світлової реклами	15
1.4 Висновки до розділу	18
2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	19
2.1 Аналіз об'єкта проектування	19
2.2 Моделювання системи зовнішнього підсвічування надпису за допомогою пакету «DIALux»	21
2.2.1 Аналіз результатів моделювання	27
2.3 Моделювання системи зовнішнього підсвічування надпису за допомогою пакету «MATLAB»	31
2.3.1 Аналіз результатів розрахунку освітленості та яскравості дифузновідбиваючої поверхні	34
2.4 Моделювання системи підсвічування лайтбоксу за допомогою пакету «MATLAB»	38
2.4.1 Аналіз результатів моделювання	39
2.5 Висновки до розділу	41
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	43
3.1 Розробка програми для розрахунку світлотехнічних параметрів об'єктів рекламного освітлення	43
3.2 Світлотехнічний розрахунок та вибір світлових приладів для системи зовнішнього підсвічування надпису	46
3.3 Світлотехнічний розрахунок та вибір джерел світла для системи підсвічування лайтбокса	50
3.4 Вибір схеми та джерела живлення лайтбоксів	54

3.5 Висновки до розділу	55
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	57
4.1 Вплив ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання на організм людини.	57
4.2 Оцінка стійкості роботи промислових електротехнічних підприємств до впливу вражаючих факторів ядерної зброї	59
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	66
Додаток А	66
Додаток Б	73

ВСТУП

Актуальність теми. В даний час реклама здатна відігравати важливу роль у підтримці позицій компанії на ринку. Успішні види та засоби рекламної кампанії поширюють зацікавленість щодо інформації про товари та послуги, які надаються клієнтам, що призводить до залучення більшої кількості клієнтів.

Одним із видів рекламних засобів є світлова реклама, основними цілями якої є привернення уваги до об'єкту, який рекламується в темний час доби.

В даний час грамотно організована складова рекламного освітлення набула статусу автономної, і є вагомим фактором загальної ефективності впливу на потенційного покупця чи одержувача послуг.

Серед основних факторів, які визначають загальну ефективність і придатність щодо застосування рекламного освітлення, варто відзначити наступні чинники

естетика світлової реклами;

зручність монтажу і демонтажу освітлювального обладнання;

доступність для технічного обслуговування освітлювального обладнання;

достатній рівень захисту від агресивного навколишнього впливу;

здатність вписуватись в інфраструктуру екстер'єрів та інтер'єрів.

Окрім того засоби світлової реклами є формами додаткового підсвічування будівель, споруд, а також вулиць, площ та бульварів.

Проте в даний час майже не звертається увага на енергоефективність освітлювальних рекламних засобів, що є важливо саме в даний час, коли кількість об'єктів рекламного освітлення та їх видів дедалі зростає

Тому **актуальним** є напрям, пов'язаний із проектуванням енергоефективних систем та об'єктів світлової реклами.

Мета роботи полягає в розробці та порівнянні по встановленій потужності різних засобів рекламного освітлення, а саме зовнішнього підсвічування панелей та світлових коробів типу «Лайтбокс».

Для досягнення мети було поставлено і вирішено наступні завдання:

- моделювання та світлотехнічний розрахунок систем різних видів рекламного освітлення;

- порівняння результатів розрахунку освітленості поверхонь рекламних об'єктів, отриманих в пакеті «DIALux» та точковим методом із застосуванням пакету «MATLAB»;

- розробці програми для розрахунку освітленості та яскравості поверхонь із дифузним вадбиванням та пропусканням;

- вибір, на основі результатів світлотехнічного розрахунку джерел світла та світлових приладів, а також їх потужностей для забезпечення нормованих значень середньої яскравості рекламних об'єктів.

Об'єкт дослідження: процеси проектування та світлотехнічного розрахунку засобів світлової реклами.

Предмет дослідження: напівпровідникові джерела як засоби рекламного освітлення.

Наукова новизна: встановлено залежність необхідної кількості точкових джерел світла зі світловим потоком 1 лм для забезпечення середньої яскравості 200 кд поверхні площею 1 м² із дифузним пропусканням та коефіцієнтом 0,53, розміщеної на відстані 0,1 м від джерел світла.

Практична цінність: запропоновано систему підсвічування надпису «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ» на фасаді корпусу № 7 ТНТУ ім. І. Пулюя.

Апробація результатів роботи. Результати, отримані під час написання роботи, представлено на VII Міжнародній науково-технічній конференції «Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи», 29-31 травня 2024 року – Тернопіль, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя) [9].

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз видів світлової реклами

До світлової реклами відносяться рекламні конструкції, котрі можуть мати власне джерело світла або додаткову підсвітку. Такий вид реклами може виконуватись у вигляді окремих світлових елементів або комплексних рішень, що включає використання різних видів освітлення. На даний час основними видами світлової реклами є [1]:

- світлові об'ємні літери;
- світлодіодні вивіски;
- світлові короби «Лайтбокс»;
- неонові вивіски;
- світлові панелі;
- панелі із зовнішнім підсвічуванням.

Світлові об'ємні літери (рис. 1.1) є найпопулярнішим видом зовнішньої реклами. Такий вид світлової реклами може складатися з окремих літер або слів, котрі створюють назву компанії або бренду. Ці літери можуть підсвічуватись як з середини – внутрішнє підсвічування (рис. 1.1 а), так і підсвічуватись по контуру – контражурне підсвічування (рис. 1.1 б).



а)



б)

Рисунок 1.1 – Світлові об'ємні літери

Якісно виготовлені, різноманітні формою та кольором, такі літери здатні незмінно привертати увагу. Варіанти виготовлення об'ємних можуть бути дуже різноманітними: від одного сантиметра до декількох метрів.

Такі конструкції можуть виготовлятися із різних матеріалів, проте найширшого застосування набули пластичні матеріали. Цей вид реклами може розміщуватись на фасадах будівель або виступати, як окрема конструкція чи розташовуватися на даху.

Застосування такого виду світлової реклами має ряд переваг, котрі полягають у:

- забезпеченні необхідної яскравості та чіткої видимості;
- тривалому терміну експлуатації, завдяки відсутності необхідності додаткового обслуговування та ремонту;
- можливості створення об'ємних конструкцій та широкого вибору щодо дизайну.

Недоліки світлових об'ємних літер полягають у відносно високій вартості виготовлення та ускладненому монтажі.

До світлодіодних вивісок (рис 1.2) відносяться плоскі або об'ємні конструкції з яскравими світлодіодними джерелами світла. Логотипи та літери для такого виду світлової реклами можуть виготовлятися фрезеруванням композитних панельних матеріалів або акрилового скла.



Рисунок 1.2 – Зображення світлодіодної вивіски

Переваги світлодіодних вивісок полягають у наступному:

- низьке споживання електроенергії через високу світлову віддачу

світлодіодів;

- забезпечуються необхідні яскравість та чіткість зображення;
- тривалий термін служби термін служби світлодіодів

Недолік світлодіодних вивісок полягає у високій вартості.

В світлових коробах із внутрішнім підсвічуванням (лайтбоксах) (рис. 1.3) розміщуються необхідні рекламні зображення на самоклеючій плівці. Вирізання літер чи логотипів на плівці здійснюється за допомогою спеціальних плотерів.



Рисунок 1.3 – Зображення світлового короба (лайтбокса)

Світловий короб являється яскравим і водночас простим видом вивісок. Лайтбокси бувають одно та двосторонніми. В односторонніх лайтбоксах джерела світла та блок живлення розміщуються на задній кришці, матеріалом якої є полівінілхлорид. У двосторонніх лайтбоксах джерела світла розміщуються по периметру, а передня та задні кришки є лицьовими.

Матеріалом лицьових частин може бути молочний акрил, банерна тканина, на які наносять рекламне зображення у вигляді назви об'єкта, який рекламується або його логотипу. Завдяки можливості застосування плівок різних кольорів лайтбокси можуть мати широку кольорову гаму [2].

Переваги лайтбоксів:

- простота виготовлення та низька його вартість;

- можливість змінювати рекламне зображення;
- різноманітність у варіантах розмірів та форми;

Недоліки лайтбоксів полягають у високому споживанні електроенергії на живлення джерел світла та відносно високій вартості заміни зображення.

Завдяки яскравому світінню протягом багатьох десятиліть неонові вивіски (рис. 1.4) є досить популярним видом світлової реклами. Використовуються дві основні технології виготовлення неонових вивісок:

1) використання неонових трубок U-подібної форми, заповнених сумішшю неону та інших газів (рис. 1.4 а);

2) використання гнучкого неонових силіконового шнура (рис. 1.4 б) із розміщеним в середині мідного провідника із люмінофорним покриттям.



а)



б)

Рисунок 1.4 – Зображення неонових вивісок

Використання гнучкого неонових силіконового шнура має ряд переваг у порівнянні із використанням неонових трубок, а саме: забезпечення вищої механічної міцності та зносостійкості; можливість створення надписів будь-якої форми; простота у заміні та монтажі; нижча вартість.

В загальному, переваги використання неонових вивісок полягають у :

- можливість створення надписів та фігур довільної форми;
- достатньо тривалий термін можливої експлуатації (зазвичай неонові трубки можуть служити до 10 років);

- стійкість до підвищених та понижених температур;
- низька температура нагрівання (40 °С), що дозволяє уникнути перегріву та використовувати із іншими матеріалами;

- широка кольорова гама;

Недоліки: висока вартість, можливість помітити неонову рекламу, котра світиться лише в темний період доби.

Ще одним видом світлової реклами є світлові панелі (рис. 1.5). Ними є акрилові панелі малої товщини, які використовуються як альтернатива лайтбоксів. Товщина світлових панелей становить в межах від 1 до 5 см. Особливістю конструкцій світлових панелей є те, що джерела світла у вигляді вузької світлодіодної стрічки розміщуються тільки в торцях панелей, а інформація може подаватись як з одної, так і з двох сторін [3].

Рекламне зображення на поверхні акрилового листа наноситься способами гравіювання, шовкотрафаретного друку чи наклеюванням плівки з поліпропілену з готовим зображенням.



а)



б)



в)

Рисунок 1.5 – Зображення світлових панелей

В залежності від конструкції і способу нанесення зображення світлові панелі поділяються на:

- фреймлайти (рис. 1.5 а) – це світлові панелі з постером (плакатом) із зображенням, котрий кріплять за допомогою профіля клік системи або магнітної

стрічки;

- кристалайти (рис. 1.5 б) – це світлові рекламні панелі, розміщені в прозорому корпусі з рамкою, яка світиться по периметру панелі;

- акрілайти (рис. 1.5 в) – безрамкові панелі із зображенням, отриманим гравіюванням.

Переваги світлових панелей полягають у [1]:

- можливості створення креативних світлових конструкцій;
- досить високій яскравості;
- тривалому терміну служби.

Недоліки: відносно висока вартість та необхідність навичок монтажу таких рекламних конструкцій.

До панелей із зовнішнім підсвічуванням (рис. 1.6) можуть відноситись плоскі (рис. 1.6 а) чи об'ємні надписи чи зображення (рис. 1.6 б), котрі освітлюються світловими приладами під певним кутом.



а)



б)

Рисунок 1.6 – Панелі із зовнішнім підсвічуванням

Основною перевагою такого виду реклами з точки зору освітлення є її відносна простота. Недолік – підвищена енергоємність.

1.2 Технічні вимоги до об'єктів зовнішньої реклами

Відповідно до постанови Кабінету міністрів України від 29 грудня 2003

р. № 2067 «Про затвердження типових правил розміщення зовнішньої реклами»
[4] зовнішня реклама повинна відповідати таким вимогам:

- розміщуватися таким чином, щоб не перешкоджати видимості дорожніх знаків, засобів регулювання дорожнього руху, перехресть, переходів для пішоходів, зупинок громадського транспорту та не відтворювати зображень, розміщених на дорожніх знаках;

- світлова реклама реклами не повинна засліплювати учасників дорожнього руху, а також засвічувати квартири житлових будинків та приміщення палат лікувальних закладів;

- можливість декоративного оформлення фундаменту наземної зовнішньої реклами, що виступає над поверхнею землі, може бути декоративно оформлений;

- нанесення, за вимогою уповноваженого підрозділу Національної поліції, вертикальної дорожньої розмітки заввишки до 2 метрів на опорах наземної зовнішньої реклами;

- на опорах наземної зовнішньої реклами, що розміщується вздовж проїжджої частини вулиць і доріг, за вимогою уповноваженого підрозділу Національної поліції наноситься вертикальна дорожня розмітка із світлоповертаючих матеріалів заввишки до 2 метрів від поверхні землі;

- висота нижнього краю зовнішньої реклами, розміщеною на проїжджими частинами вулиць і доріг, у тому числі на мостах, естакадах тощо, повинна становити не менше, ніж 5 метрів від поверхні дорожнього покриття;

- можливість розміщення зовнішньої реклами в одну лінію з фасадами будівель або огорож у місцях межування проїжджої частини вулиць з цоколями будівель та огорожами.

Об'єкти реклами у вигляді вивісок чи таблиць:

- повинні розміщуватися без втручання у несучі конструкції будівель та споруд, мати здатність до легкого демонтажу задля уникнення створення перешкод під час робіт, які є пов'язаними з експлуатацією та ремонтом споруд

та будівель, на яких вони розміщені;

- не повинні дублювати та (або) відтворювати зображення, нанесені на дорожні знаки;

- не повинні мати розміщення на елементах будинків чи споруд, котрі відносяться до об'єктів незавершеного будівництва;

- площа поверхні повинна становити не більше 3 м².

Засоби зовнішньої реклами заборонено розміщувати:

- на алеях та пішохідних доріжках, якщо вони є перешкодою для вільного руху пішоходів;

- на висоті меншій, ніж 5 м від поверхні дорожніх покриттів в межах населених пунктів, якщо поверхня рекламного об'єкта виступає за межі проїжджої частини.

Відповідно до правил улаштування електроустановок [5] в якості джерел світла для світлової реклами та знаків ілюмінації допускається застосовувати напівпровідникові джерела світла, газосвітні панелі, трубки та світильники.

Якщо на вулицях використовуються рекламні установки на вулицях, дорогах та площах, причому їх збігається з кольором сигналів світлофорів, то такі рекламні установки необхідно розміщувати на висоті не нижчій, ніж 8 м від поверхні дороги.

Живлення установок світлової реклами рекомендується виконувати самостійними розподільними лініями або від електричних мереж будівель. Причому потужність установок не повинна становити більше ніж 2 кВт на одну фазу за умови наявності резерву потужності мережі.

1.3 Світлотехнічні вимоги до світлової реклами

Відповідно до ДБН В.2.5 – 28 – 2018 «Природне і штучне освітлення» [6] для об'єктів рекламного освітлення регламентуються такі світлотехнічні характеристики, як середня яскравість та максимальна яскравість, під якою

приймається габаритна яскравість для ділянки розміром 0,2 на 0,2 м².

Габаритною яскравістю є відношення сили світла у визначеному напрямі до проєкції площі світної поверхні на цей напрям.

Рекомендовані та максимально допустимі рівні середньої та максимальної яскравості визначаються в залежності від:

- місця розташування об'єкта світлової реклами;
- площі об'єкта;
- висоти його розташування;
- категорії вулиці.

Об'єкти світлової реклами можуть бути розташовані поперечно до осі вулиці поза межами проїзної частини (розташування 1) або вздовж осі вулиці, на фасадах або покрівлях будівель (розташування 2).

Категорії вулиць визначаються у відповідності з табл. 8.27 [5]. Згідно цієї таблиці вулиці поділяються на три категорії:

категорія А, до якої відносяться магістральні дороги, вулиці загальноміського значення;

категорія Б – магістральні вулиці районного значення;

категорія В – дороги та вулиці місцевого значення.

Нормовані значення середньої рекомендованої, середньої найбільш допустимої та максимальної яскравості для об'єктів світлової реклами, розташованих на вулицях категорій А, Б та В приведено на відповідних діаграмах, зображених на рис. 1.7 – 1.9.

Окрім того об'єкти світлової реклами не повинні засвічувати вікна розташованих поруч житлових будинків та палат лікувальних закладів. Тобто ці рекламні об'єкти повинні бути спроектовані таким чином, щоб середня освітленість та сумарна освітленість у вертикальних площинах вікон не перевищувала відповідно 300 та 1000 лк – для об'єктів, розташованих на вулицях категорії А, 200 та 750 лк – категорії Б, 100 та 500 лк – категорії В.

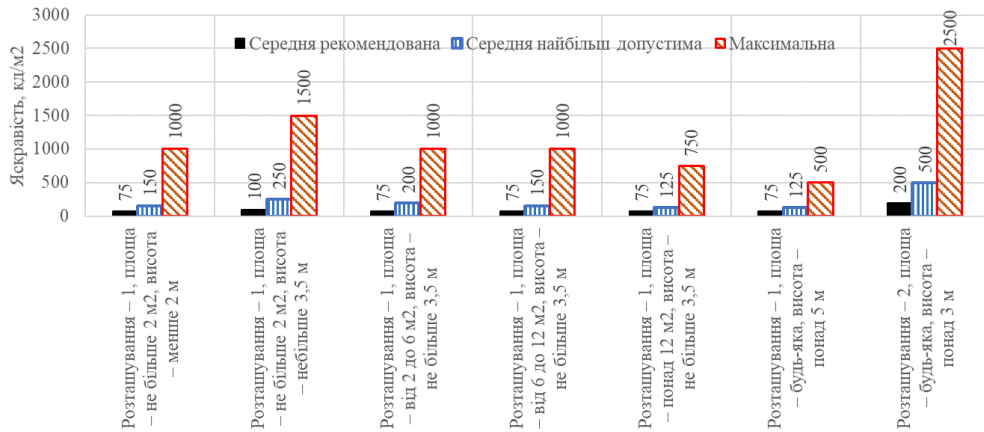


Рисунок 1.7 – Нормовані показники яскравості рекламних об’єктів, розташованих на вулицях категорії А

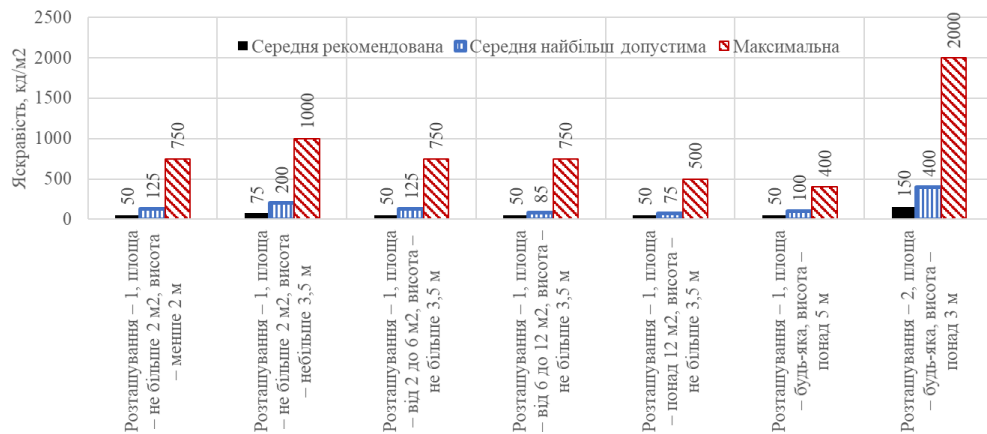


Рисунок 1.8 – Нормовані показники яскравості рекламних об’єктів, розташованих на вулицях категорії Б

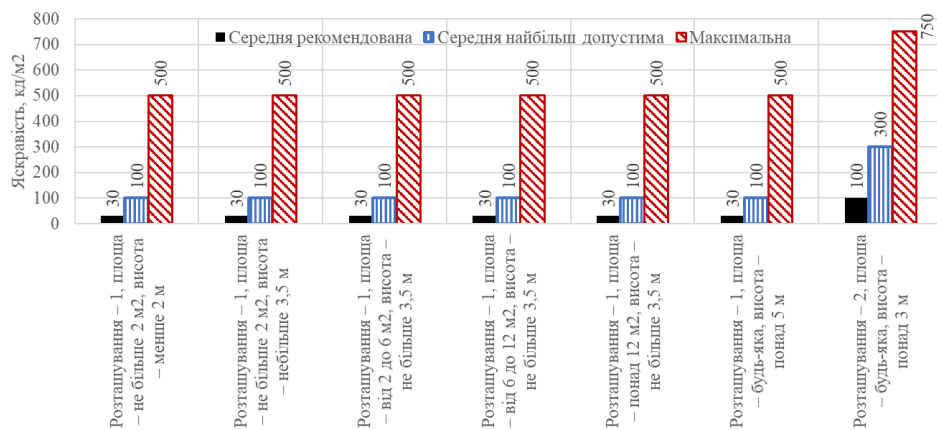


Рисунок 1.9 – Нормовані показники яскравості рекламних об’єктів, розташованих на вулицях категорії Б

1.4 Висновки до розділу

1. Проаналізовано види світлової реклами, визначено їх переваги та недоліки.

2. Наведено технічні вимоги до об'єктів зовнішньої та світлової реклами, зокрема вимоги щодо їх розміщення.

3. На основі аналізу світлотехнічних вимог встановлено, що регламентованою світлотехнічною характеристикою рекламних світлових об'єктів є яскравість, зокрема середня та максимальна габаритна. Рівні яскравості визначаються від способу, висоти встановлення встановлення об'єкта та від категорії вулиці, де цей рекламний об'єкт встановлено. Окрім того, об'єкти світлової реклами не повинні засвічувати вікна розташованих поруч житлових будинків та палат лікувальних закладів, що регламентовано допустимими рівнями освітленості вертикальних площин, яку ці об'єкти створюють.

2. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз об'єкта проектування

Об'єктом світлової реклами в даній роботі є надпис «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ», розміщений на фасаді корпусу № 7 Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, котрий розташований по вул. Микулинецька 46 у м. Тернопіль. Видовими точками цього надпису є точки, розміщені (рис. 2.1):

на початку алеї, котра веде до входу в корпус – точка 1;

перед корпусом з протилежної сторони проїжджої частини вулиці Микулинецька – точка 2;

на території паркінгу – точка 3;

біля автозаправної станції «UPG» на протилежній стороні вулиці Микулинецька – точка 4.



Точка 1



Точка 3



Точка 2



Точка 4

Рисунок 2.1 – Вигляд надпису «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ» із видових точок

Надпис являє собою панель у вигляді об'ємних літер, розміщених на стіні п'ятого поверху корпусу посередині головного фасаду. Надпис має наступні розміри (рис. 2.2):

Ширина – 11,02 м;

Висота – 1,01 м;

Висота основної частини літер – 0,8 м;

Глибина літер – 0,06 м.



Рисунок 2.2 – Розміри надпису «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Лицьову сторону літер виконано із полікарбонату зеленого кольору з коефіцієнтом відбивання 0,30.

В роботі пропонується використати надпис за основу такого виду реклами, як панелі із зовнішнім підсвічуванням, тобто літери планується підсвітити за допомогою заливаючих прожекторів. Вибір прожекторів, а також їх кількості і розміщення базується на результатах розрахунків:

освітленості на поверхні та її рівномірності;

середньої та максимальної яскравості лицьової поверхні літер.

Окрім цього, в роботі пропонується виконати світлотехнічні розрахунки для світлової реклами типу лайтбокса, котрий складатиметься із двох частин, а саме двох лайтбоксів із надписами «ТЕХНІЧНИЙ» та «УНІВЕРСИТЕТ» із розмірами відповідно $4,355 \times 1,005 \text{ м}^2$ та $5,265 \times 1,005 \text{ м}^2$. Глибина обох частин лайтбоксів становить 0,1 м.

Конструктивно лайтбокс являє собою короб (рис. 2.3) з металевим каркасом 1, до якого кріпиться задня стінка, на якій розміщуються світлодіоди 3.

Таке розташування джерел світла є притаманним для коробів із

односторонньою підвіткою. При двосторонній підвітці джерел світла встановлюються на внутрішніх торцевих поверхнях коробів.

Для обрамлення короба по периметру 2 використовується профіль, матеріалом якого найчастіше є алюміній або його сплави.

В якості лицьового світлорозсіювального елемента використовуються плоскі (або вигнуті) акрилові прозорі листи, на внутрішню поверхню яких наноситься наклеюється рекламне зображення 5, отримане на напівпрозорих плівках.

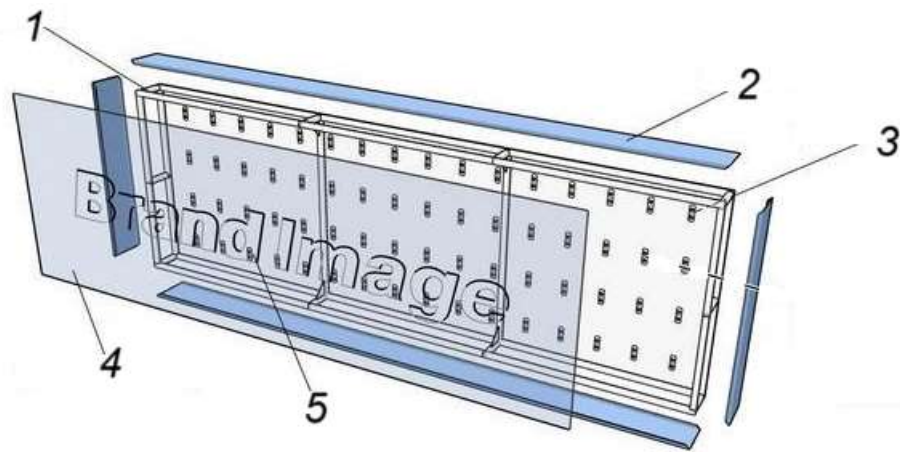


Рисунок 2.3 – Будова світлового короба

Для подальших розрахунків приймемо, що коефіцієнт пропускання лицьового світлорозсіювального елемента становить 0,75, а плівки із зображенням – 0,7.

2.2 Моделювання системи зовнішнього підсвічування надпису за допомогою пакету «DIALux»

В спеціалізованому програмному пакеті «DIALux», призначеному для моделювання та розрахунку світлотехнічних параметрів систем освітлення використовується алгоритми розрахунку та моделювання, котрий базується на

основі методу випромінюваності (Radiosity). Даний метод полягає у визначенні світимості $M(r)$ для точки, розміщеної на поверхні, котрій є притаманне дифузне відбивання [7,8]:

$$M(r) = M_0(\vec{r}) + \rho(\vec{r}) \cdot \int_{\Sigma} M(\vec{r}') \cdot V(\vec{r}, \vec{r}') \cdot dF(\vec{r}, \vec{r}'), \quad (2.1)$$

де $M_0(\vec{r})$ – світимість, котра визначається як наслідок попадання світлового потоку від джерел світла чи світлових приладів, для яких ведеться розрахунок;

$\rho(\vec{r})$ – коефіцієнт відбивання розрахункової поверхні в точці з радіус-вектором \vec{r} ;

$V(\vec{r}, \vec{r}')$ – функція, котра визначає видимість елемента $d^2\vec{r}'$ відносно елемента $d^2\vec{r}$;

$$dF(\vec{r}, \vec{r}') = \frac{|(\dot{s}' \cdot \dot{n})(\dot{s} \cdot \dot{n}')|}{\pi |\vec{r} - \vec{r}'|^2} d^2\vec{r}' - \text{кутовий елементарний коефіцієнт, який}$$

дорівнює відношенню падаючого на елемент поверхні $d^2\vec{r}$ світлового потоку, до світлового потоку, котрий випромінюється із елемента поверхні $d^2\vec{r}'$ (рис. 2.4).

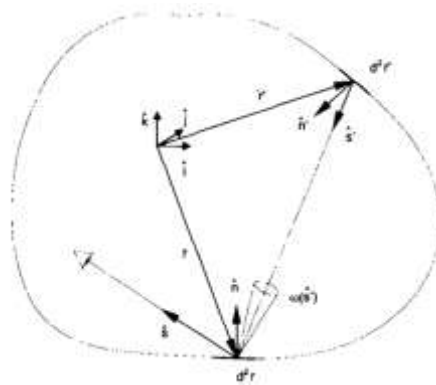


Рисунок 2.4 – Геометрична модель алгоритму розрахунку, побудованого на методу випромінюваності

Якщо врахувати, що в межах елементів розбиття світимість є постійною

($M_0 = const$), а також врахувати, що $\rho = const$, та замінити у формулі (3.1) інтеграл сумою, то можна отримати:

$$M_i = M_{0i} + \rho_i \sum_{j=1}^{j=N} M_j \cdot F_{ij}, \quad (2.2)$$

де

$$F_{ij} = \frac{1}{\Delta A_j} \int_{\Delta A_i} \int_{\Delta A_j} \frac{\cos \delta_i \cdot \cos \delta_j}{\pi \cdot r_{ij}^2} \cdot V_{ij} \cdot dA_i \cdot dA_j,$$

$$r_{ij} = |\dot{r}_i - \dot{r}_j|, \quad (2.3)$$

$$\cos \delta_i = \frac{-((\bar{r}_i - \bar{r}_j) \dot{n}_j)}{r_{ij}}, \quad \cos \delta_j = \frac{-((\dot{r}_i - r_j) \dot{n}_j)}{r_{ij}}.$$

Формули (2.1) – (2.3) можна представити у вигляді системи лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{pmatrix} M_{0,1} \\ M_{0,2} \\ \dots \\ M_{0,N} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \rho_1 \cdot F_{11} & -\rho_1 \cdot F_{12} & \dots & -\rho_1 \cdot F_{1N} \\ -\rho_2 \cdot F_{21} & 1 - \rho_2 \cdot F_{22} & \dots & -\rho_2 \cdot F_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -\rho_N \cdot F_{N1} & -\rho_N \cdot F_{N2} & \dots & 1 - \rho_N \cdot F_{NN} \end{bmatrix} \times \begin{pmatrix} M_0 \\ M_0 \\ \dots \\ M_0 \end{pmatrix}. \quad (2.4)$$

Для визначення рівномірності розподілу освітленості по фронтальній поверхні літер в пакеті «DIALux» було виконано відповідний розрахунок.

В якості джерел випромінювання використано світлові прилади малих габаритних розмірів із круглосиметричним розподілом та косинусною кривою сили світла. Значення сили світла I_α в залежності від кута α між напрямом I_α та оптичною віссю випромінювача (осьовою силою світла I_0) (рис. 2.5), визначали, виходячи із формули:

$$I_\alpha = I_0 \cdot \cos \alpha. \quad (2.5)$$

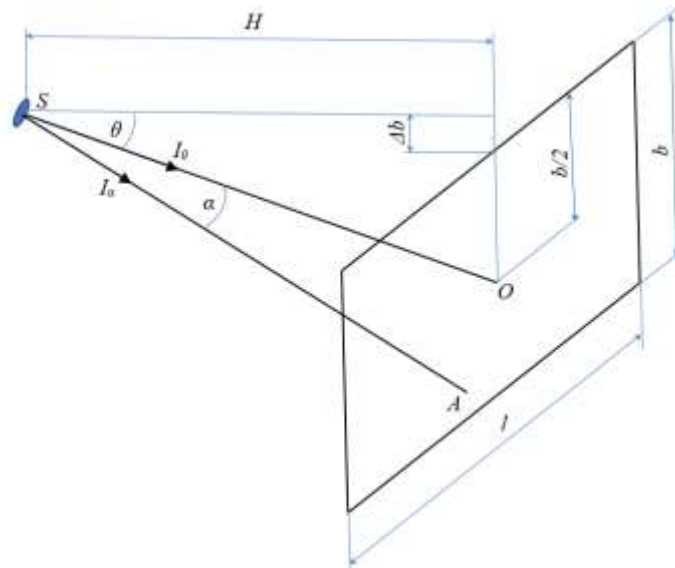


Рисунок 2.5 – Положення точки розміщення джерела випромінювання відносно площини розрахунку

Для світильника із такою привою сили світла світловий потік:

$$\begin{aligned}
 \Phi &= 2 \cdot \pi \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} I_{\alpha} \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = 2 \cdot \pi \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} I_0 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = \\
 &= \pi \cdot I_0 \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} 2 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha = \frac{\pi}{2} \cdot I_0 \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin(2\alpha) \cdot d(2\alpha) = \\
 &= -\frac{\pi}{2} \cdot I_0 \cdot \cos(2\alpha) \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} = -\frac{\pi}{2} \cdot I_0 (\cos \pi - \cos 0) = \pi \cdot I_0.
 \end{aligned} \tag{2.6}$$

Моделювання та розрахунок виконаємо для умовних випромінювачів із світловим потоком 1000 лм. Силу світла I_{α} в кожному напрямку для таких випромінювачів знайдемо, виходячи із формул (2.5) та (2.6):

$$I_{\alpha} = \frac{\Phi}{\pi} \cdot \cos \alpha. \tag{2.7}$$

Підставивши значення $\Phi = 1000$ лм та значення кута α в межах від 0 до 90° із кроком 5°, отримаємо залежність $I_{\alpha} = f(\alpha)$, графік якої приведено на рис. 2.6.

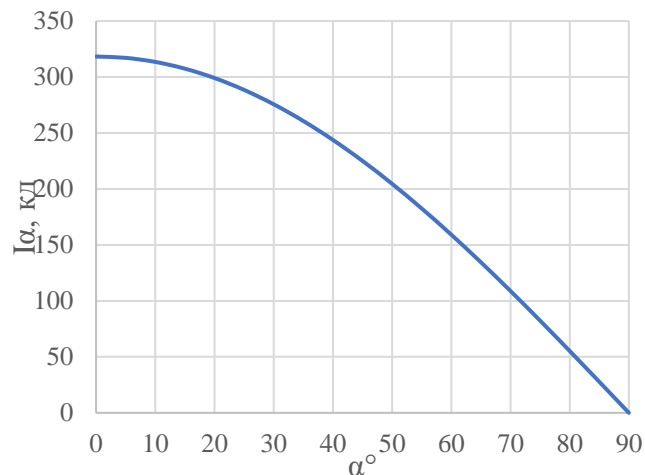
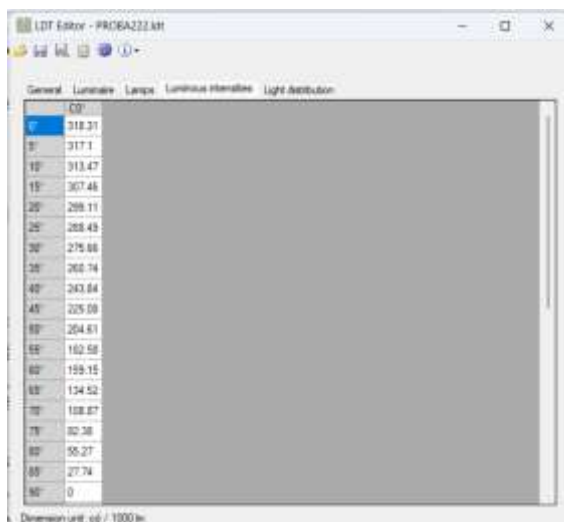
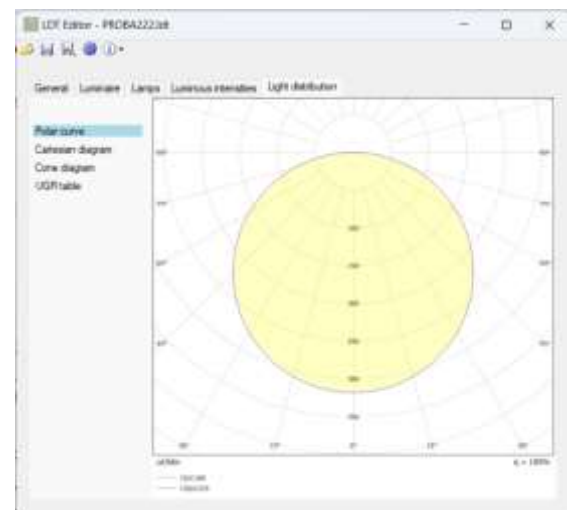


Рисунок 2.6 – Графік залежності $I_\alpha = f(\alpha)$ для випромінювача із косинусною кривою сили світла та світловим потоком $\Phi = 1000$ лм

Для такого випромінювача в програмному пакеті «LDT Editor» (рис. 2.7) створено спеціальний файл із розширенням *.ldt, котрий завантажувався, як фотометричний файл світильника в пакет «DIALux».



а)



б)

Рисунок 2.7 – Інтерфейс програмного пакету «LDT Editor» із вікном внесення значень сили світла (а) та зображенням кривої сили світла (б)

Для розрахунку освітленості та її розподілу в пакеті «DIALux» було створено розрахункову вертикальну поверхню у вигляді прямокутника, розміри

якого становлять $l = 10,000$ м та $b = 1,005$ м й дорівнюють відповідно ширині та висоті надпису «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ».

Моделювання виконували при наступних параметрах взаєморозташування світлових приладів та розрахункової поверхні:

- відстані H по нормалі від світлових приладів до розрахункової поверхні (рис. 2.5) становили 0,5, 1,0 та 1,5 м;

- висота встановлення світлових приладів над рівнем верхньої кромки надпису – $\Delta b = 0,1$ м (рис. 2.5);

- напрями свічення світлових приладів вибирали таким чином, щоб відстані по вертикалі від точок перетину напрямів осьової сили світла до верхніх кромки надпису становили половину його висоти; звідси кут між напрямом осьової сили світла світлових приладів та нормаллю до розрахункової поверхні становить

$$\theta = \operatorname{arctg} \left(\frac{\frac{b}{2} + \Delta b}{H} \right). \quad (2.8)$$

Підставивши значення для b , Δb та H у формулу (2.8), отримаємо:

для $H = 0,5$ м

$$\theta = \operatorname{arctg} \left(\frac{\frac{1,01}{2} + 0,1}{0,5} \right) = 50,3^\circ;$$

для $H = 1,0$ м

$$\theta = \operatorname{arctg} \left(\frac{\frac{1,01}{2} + 0,1}{1,0} \right) = 31,1^\circ;$$

для $H = 1,5$ м

$$\theta = \arctg \left(\frac{\frac{1,01}{2} + 0,1}{1,5} \right) = 21,9^\circ.$$

- відстані між світловими приладами Δl (рис. 2.8) визначались в залежності від їх кількості N :

$$\Delta l = \frac{l}{N}, \quad (2.9)$$

причому $N = 1, 2, \dots, 10, 13, 15, 20$ приладів.

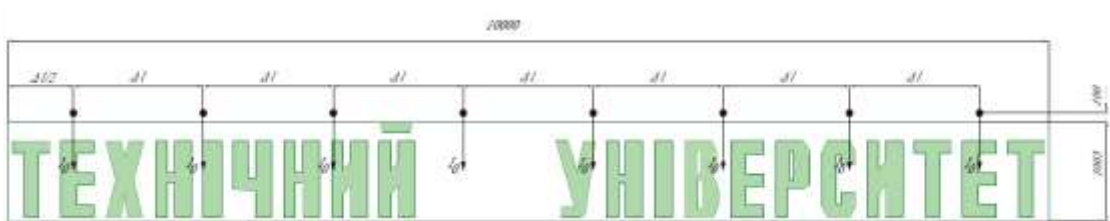


Рисунок 2.8 – Розміщення світлових приладів

2.2.1 Аналіз результатів моделювання

В результаті моделювання та розрахунку отримано значення мінімальної, середньої та максимальної освітленості на розрахунковій поверхні, котрі наведено в табл. 2.1. На рис. 2.9 показано графік розподілу значень освітленості, створеної для на поверхні надпису 10 світильниками, розміщеними на відстані 1,0 м.

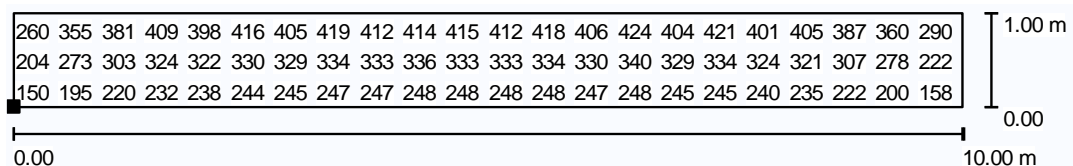


Рисунок 2.9 – Графік розподілу освітленості, створеної на розрахунковій поверхні 10 світильниками зі світловим потоком $\Phi = 1000$ лм, розміщеними на відстані 1,0 м

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку освітленості на поверхні надпису в пакеті «DIALux».

$H, \text{ м}$	$\theta, ^\circ$	$N, \text{ шт}$	$\Delta l, \text{ м}$	$E_{\min}, \text{ ЛК}$	$E_{\text{сеп}}, \text{ ЛК}$	$E_{\max}, \text{ ЛК}$	$\frac{E_{\max}}{E_{\min}}$
0,5	50,3	1	10,00	0,13	42	883	6792,31
		2	5,00	1,87	84	884	472,73
		3	3,33	8,2	126	886	108,05
		4	2,50	22	167	887	40,32
		5	2,00	34	207	893	26,26
		6	1,67	45	248	903	20,07
		7	1,43	59	288	915	15,51
		8	1,25	65	328	930	14,31
		9	1,11	75	368	956	12,75
		10	1,00	87	408	984	11,31
		13	0,77	114	529	1102	9,67
		15	0,67	131	610	1203	9,18
		20	0,50	176	811	1518	8,63
1,0	31,1	1	10,00	0,47	34	289	614,89
		2	5,00	6,04	67	289	47,85
		3	3,33	19	99	292	15,37
		4	2,50	34	131	300	8,82
		5	2,00	49	162	313	6,39
		6	1,67	62	193	334	5,39
		7	1,43	74	225	361	4,88
		8	1,25	85	257	396	4,66
		9	1,11	98	287	429	4,38
		10	1,00	109	319	469	4,30
		13	0,77	141	414	596	4,23
		15	0,67	163	477	687	4,21
		20	0,50	222	635	916	4,13
1,5	21,9	1	10,00	0,98	27	137	139,80
		2	5,00	9,48	52	138	14,56
		3	3,33	24	76	145	6,04
		4	2,50	38	100	157	4,13
		5	2,00	50	124	176	3,52
		6	1,67	62	148	200	3,23
		7	1,43	73	172	228	3,12
		8	1,25	84	196	257	3,06
		9	1,11	95	220	288	3,03
		10	1,00	106	245	320	3,02
		13	0,77	141	318	416	2,95
		15	0,67	163	366	479	2,94
		20	0,55	217	488	638	2,94

Оскільки надпис розміщено на фасаді будівлі, то у відповідності з п. 8.6.4 [6] відношення максимальної освітленості до мінімальної не повинне перевищувати 5:1. З цією метою розрахуємо E_{\max}/E_{\min} та на основі результатів розрахунку (табл. 2.1) побудуємо залежності E_{\max}/E_{\min} від відстані між світловими приладами (рис. 2.10).

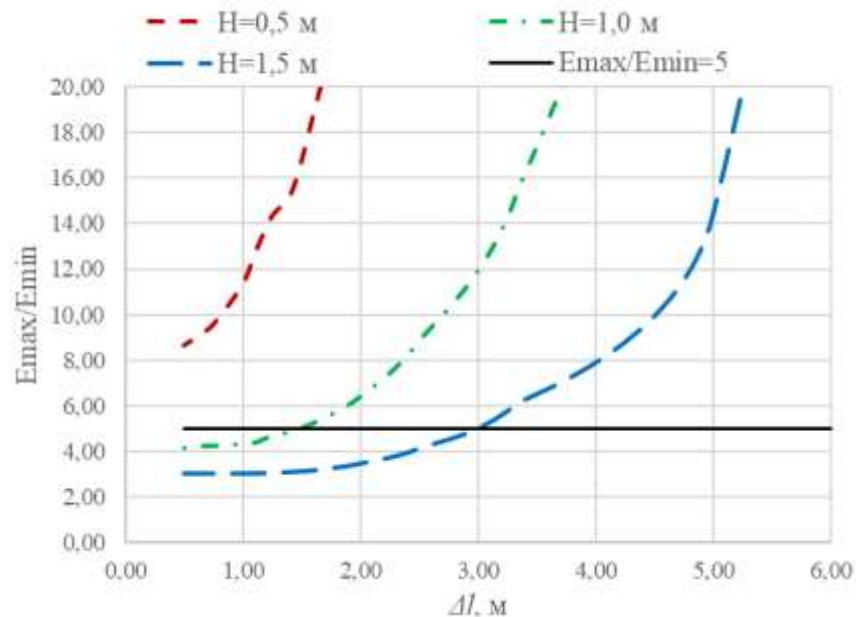


Рисунок 2.10 – Залежності відношення E_{\max}/E_{\min} від відстані між світловими приладами для прямокутної розрахункової поверхні розмірами $l = 10,000$ м та $b = 1,005$ м

Як видно із вищеприведених залежностей, при розміщенні світлових приладів на відстані 0,5 м від розрахункової поверхні неможливо досягти відношення E_{\max}/E_{\min} навіть при відстані між світловими приладами 0,5 м. Для відстаней $H = 1,0$ м та $H = 1,5$ м відношення E_{\max}/E_{\min} не перевищуватиме значення 5, коли відстані між світловими приладами не перевищуватимуть відповідно 1,4 та 2,9 м.

Для забезпечення $E_{\max}/E_{\min} \leq 5$ на лицевій поверхні надпису розмірами $l = 11,015$ м та $b = 1,005$ м необхідно:

для відстані $H = 1,0$ м

$$N = \frac{11,015}{1,4} = 7,86 \approx 8 \text{ світлових приладів;}$$

для відстані $H = 1,5$ м

$$N = \frac{11,015}{2,9} = 3,80 \approx 4 \text{ світлових прилади.}$$

Виконаємо розрахунок освітленості та рівномірності її розподілу при таких кількостях світлових приладів для різних кутів θ . Для цього оптичну вісь світлових приладів спрямуємо наступним чином:

- перпендикулярно до площини лицьового надпису – положення 1;
- до точки, розміщеної на верхній кромці надпису – положення 2;
- до точки, розміщеної на відстані $0,25b$ від верхньої кромки надпису – положення 3;
- до точки, розміщеної на відстані $0,5b$ від верхньої кромки надпису – положення 4;
- до точки, розміщеної на відстані $0,75b$ від верхньої кромки надпису – положення 5;
- до точки, розміщеної на нижній кромці – положення 6.

Результати розрахунку представлено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку освітленості та її розподілу залежно від напрямку осьової сили світла

$H, \text{ м}$	$\theta, ^\circ$	$N, \text{ шт}$	$\Delta l, \text{ м}$	$E_{\min}, \text{ ЛК}$	$E_{\text{сер}}, \text{ ЛК}$	$E_{\max}, \text{ ЛК}$	E_{\max}/E_{\min}
1,0	0,0	8	1,38	45	188	380	8,44
	5,7			52	202	392	7,54
	19,4			68	227	396	5,82
	31,1			75	235	372	4,96
	40,5			79	232	339	4,29
	47,9			81	223	310	3,83
1,5	0,0	4	2,75	25	82	155	6,20
	3,8			27	85	186	6,89
	13,2			30	90	157	5,23
	21,9			33	92	153	4,64
	29,6			33	92	145	4,39
	36,4			34	90	136	4,00

Як видно із результатів, наведених в табл. 2.2 умову $E_{\max}/E_{\min} \leq 5$ можна забезпечити при напрямках осьової сили світла, котрі б відповідали положенням 4 – 6. Проте найбільші значення середньої освітленості, котрі визначатимуть середню яскравість можна забезпечити при направленні осьової сили світла на середину надпису, тобто при положенні 4. На рис. 2.10 приведено графіки розподілу освітленості по розрахунковій лицевій поверхні надпису, отримані при освітленні 8 світловими приладами, розміщеними на відстані $H = 1,0$ м при $\theta = 31,1^\circ$ (рис. 2.10 а) та 4 світловими приладами, розміщеними на відстані $H = 1,5$ м при $\theta = 21,9^\circ$ (рис. 2.10 б).

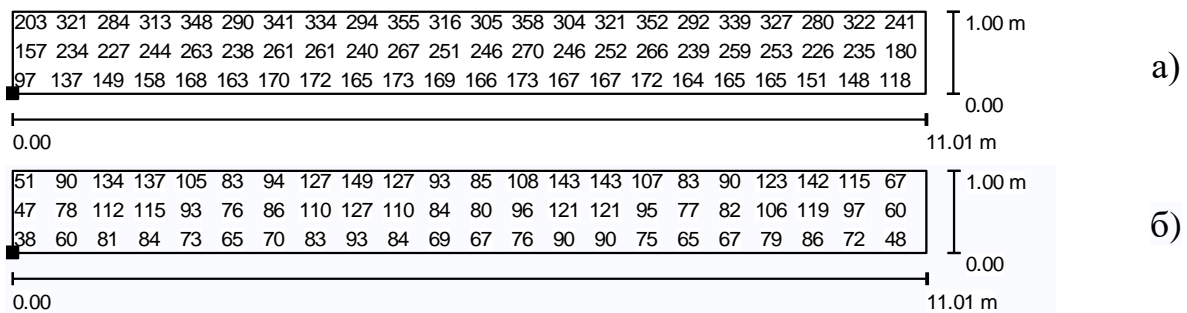


Рисунок 2.10 – Графіки розподілу освітленості по розрахунковій лицевій поверхні надпису

2.3 Моделювання системи зовнішнього підсвічування надпису за допомогою пакету «MATLAB»

Для подальших розрахунків яскравості приймемо те, що для будь-якого елемента лицевій поверхні надпису притаманним є дифузне відбивання, а отже в межах елемента поверхня є рівнояскравою. Яскравість такої поверхні визначимо за формулою [9]

$$L = \frac{M}{\pi} = \frac{\rho \cdot E}{\pi}, \quad (2.10)$$

де M – світимість елемента поверхні;

ρ – коефіцієнт відбивання поверхні.

Освітленість нескінченно малого елемента A поверхні (рис. 2.10) визначимо, виходячи із законів обернених квадратів відстаней для точкових випромінювачів [8, 10, 11]:

$$E_A = \frac{I_\alpha \cdot \cos \beta}{d^2}, \quad (2.10)$$

де I_α – сила світла в напрямку елемента A розрахункової поверхні;

β – кут між напрямком I_α та нормаллю до розрахункової поверхні;

d – відстань між джерелом випромінювання та елементом A розрахункової поверхні.

Врахувавши формулу (2.7), отримуємо

$$E_A = \Phi \cdot \frac{\cos \alpha \cdot \cos \beta}{\pi \cdot d^2}. \quad (2.11)$$

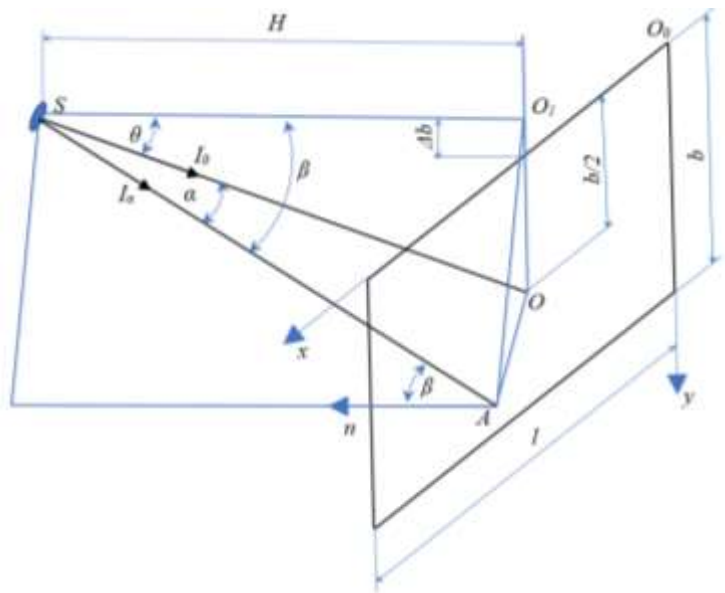


Рисунок 2.10 – Геометрична схема для розрахунку освітленості на поверхні надпису від одного світлового приладу

Для зручності подальшого розрахунку введемо систему координат з початком відліку, розміщеним в точці O_0 і присвоємо наступні координати:

для точки розміщення джерела світла – $S(x_s, y_s, H)$;

для точки перетину напрямку осьової сили світла з розрахунковою площиною – $O(x_o, y_o, 0)$;

для точки розміщення елемента $A – A(x_A, y_A, 0)$;

для точки перетину з розрахунковою площиною перпендикуляра, опущеного з точки розміщення джерела світла – $O_1(x_{o_1}, y_{o_1}, 0)$.

Тоді відстань d дорівнюватиме довжині відрізка SA :

$$d = SA = \sqrt{(x_A - x_s)^2 + (y_A - y_s)^2 + H^2}. \quad (2.12)$$

Значення $\cos \alpha$ визначимо, виходячи із теореми косинусів для трикутника SOA :

$$\cos \alpha = \frac{SA^2 + SO^2 - OA^2}{2 \cdot SA \cdot SO}, \quad (2.13)$$

де

$$SO = \sqrt{(x_o - x_s)^2 + (y_o - y_s)^2 + H^2}, \quad (2.14)$$

$$OA = \sqrt{(x_A - x_o)^2 + (y_A - y_o)^2}. \quad (2.15)$$

Косинус кута β визначимо, виходячи зі співвідношень у трикутнику SO_1A :

$$\cos \beta = \frac{SO_1}{SA}. \quad (2.16)$$

Освітленість E_{AN} елемента A поверхні від N світильників:

$$E_{AN} = \frac{\Phi}{\pi} \cdot \sum_{u=1}^{u=N} \frac{\cos \alpha_u \cdot \cos \beta_u}{d_u^2}. \quad (2.17)$$

Враховуючи, що для будь-якого i -го джерела світла

$$\begin{aligned}
 y_{Su} &= \text{const} = y_S = -\Delta b, \\
 y_{Ou} &= \text{const} = y_O = \frac{b}{2}, \\
 x_{Su} &= x_{Ou} = x_{Su},
 \end{aligned}
 \tag{2.18}$$

то формули (2.12) – (2.16) набудуть вигляду:

$$d_u = SA_u = \sqrt{(x_A - x_{Su})^2 + (y_A + \Delta b)^2 + H^2}. \tag{2.19}$$

$$\cos \alpha_u = \frac{SA_u^2 + SO_u^2 - OA_u^2}{2 \cdot SA_u \cdot SO_u}, \tag{2.20}$$

$$\cos \beta_u = \frac{SO_u}{SA_u}, \tag{2.16}$$

$$SO_u = SO = \sqrt{\left(\frac{b}{2} + \Delta b\right)^2 + H^2}, \tag{2.21}$$

$$OA_u = \sqrt{(x_A - x_{Su})^2 + \left(y_A - \frac{b}{2}\right)^2}. \tag{2.22}$$

2.3.1 Аналіз результатів розрахунку освітленості та яскравості дифузновідбиваючої поверхні

В результаті виконання розрахунку отримано значення мінімальної середньої та максимальної освітленості на лицевій поверхні надпису, котрі приведені в табл. 2.3. Також для співставлення та порівняння результатів розрахунків в табл. 2.3 занесемо відповідні значення освітленості, отримані за допомогою пакету «DIALux». Розбіжність між результатами розрахунку визначимо за формулою:

$$\delta E\% = \frac{|E_{DIALux} - E_{MATLAB}|}{E_{DIALux}} \cdot 100\%. \tag{2.23}$$

Як видно із отриманих результатів, розбіжність становить до 4 %, що

означає на коректність розробленої програми.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку освітленості

H , м	N , шт	MATLAB			DIALux			δE_{\min} , %	$\delta E_{\text{сеп}}$, %	δE_{\max} , %
		E_{\min} , ЛК	$E_{\text{сеп}}$, ЛК	E_{\max} , ЛК	E_{\min} , ЛК	$E_{\text{сеп}}$, ЛК	E_{\max} , ЛК			
1,0	8	77	244	364	75	235	372	2,44	3,63	2,03
1,5	4	32	94	149	33	92	153	1,91	2,52	2,78

Графіки розподілу освітленості по розрахунковій поверхні надпису приведено на рис. 2.11.

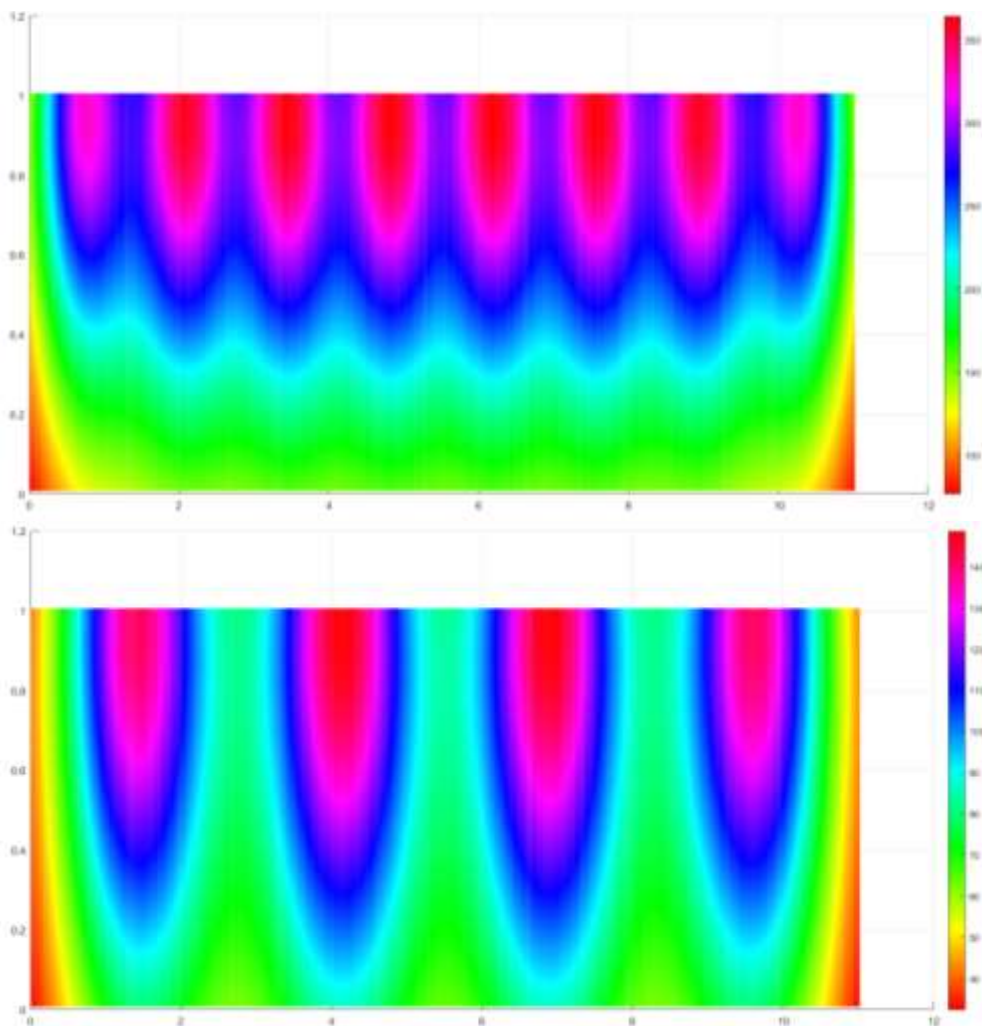


Рисунок 2.11 – Графіки розподілу освітленості по розрахунковій лицевій поверхні надпису

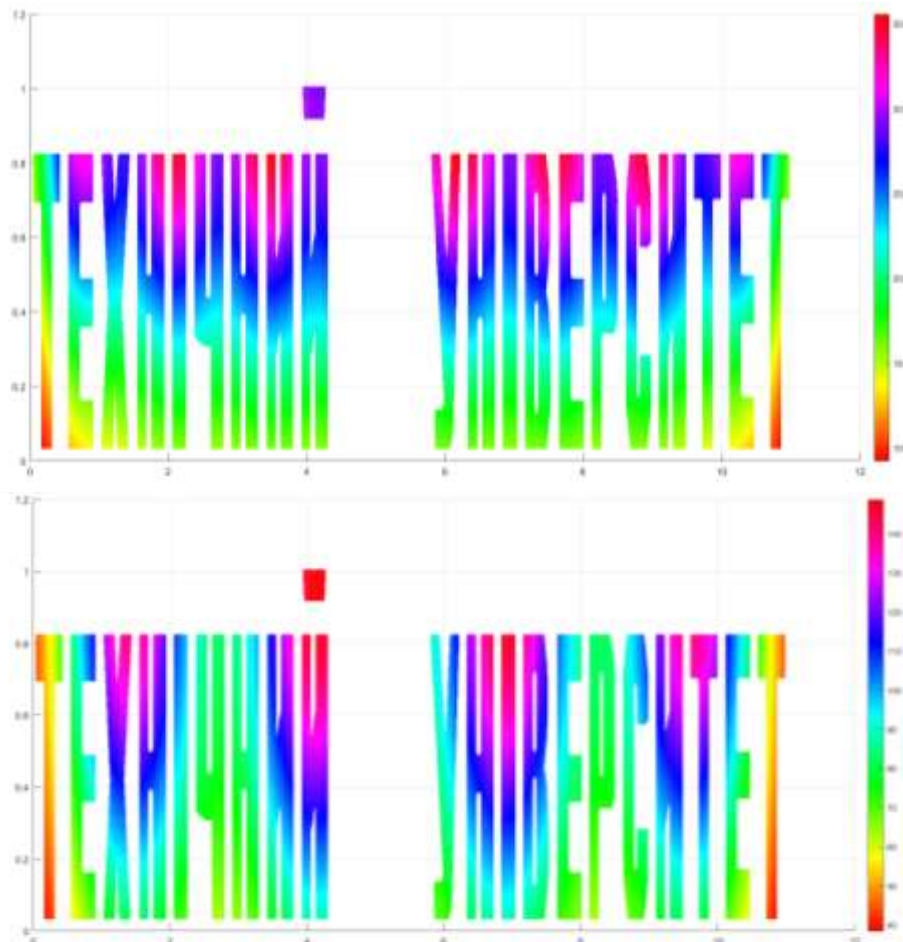
а) – $H = 1,0$ м, $N = 8$; б) – $H = 1,5$ м, $N = 4$

Крім того, було виконано розрахунок мінімального, середнього та

максимального значення освітленості безпосередньо на лицевих поверхнях літер надпису. Результати розрахунку приведено в табл. 2.4, а графіки розподілу освітленості – на рис. 2.12

Таблиця 2.4 – Результати розрахунку мінімального, середнього та максимального значення освітленості безпосередньо на лицевих поверхнях літер надпису

H , м	N , шт	E_{\min} , ЛК	$E_{\text{сеп}}$, ЛК	E_{\max} , ЛК	E_{\max}/E_{\min}
1,0	8	97	258	364	3,75
1,5	4	38	95	149	3,87



а)

б)

Рисунок 2.12 – Графіки розподілу освітленості безпосередньо на лицевих поверхнях літер надпису

а) – $H = 1,0$ м, $N = 8$; б) – $H = 1,5$ м, $N = 4$

Результати розрахунку значень яскравості безпосередньо на лицевих поверхнях літер надпису приведено в табл. 2.5, а графіки її розподілу – на рис. 2.13

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку мінімального, середнього та максимального значення яскравості безпосередньо на лицевих поверхнях літер надпису

H , м	N , ШТ	L_{\min} , КД/М ²	$L_{\text{сер}}$, КД/М ²	L_{\max} , КД/М ²	L_{\max}/L_{\min}
1,0	8	9,3	24,6	34,7	3,75
1,5	4	3,7	9,1	14,2	3,87

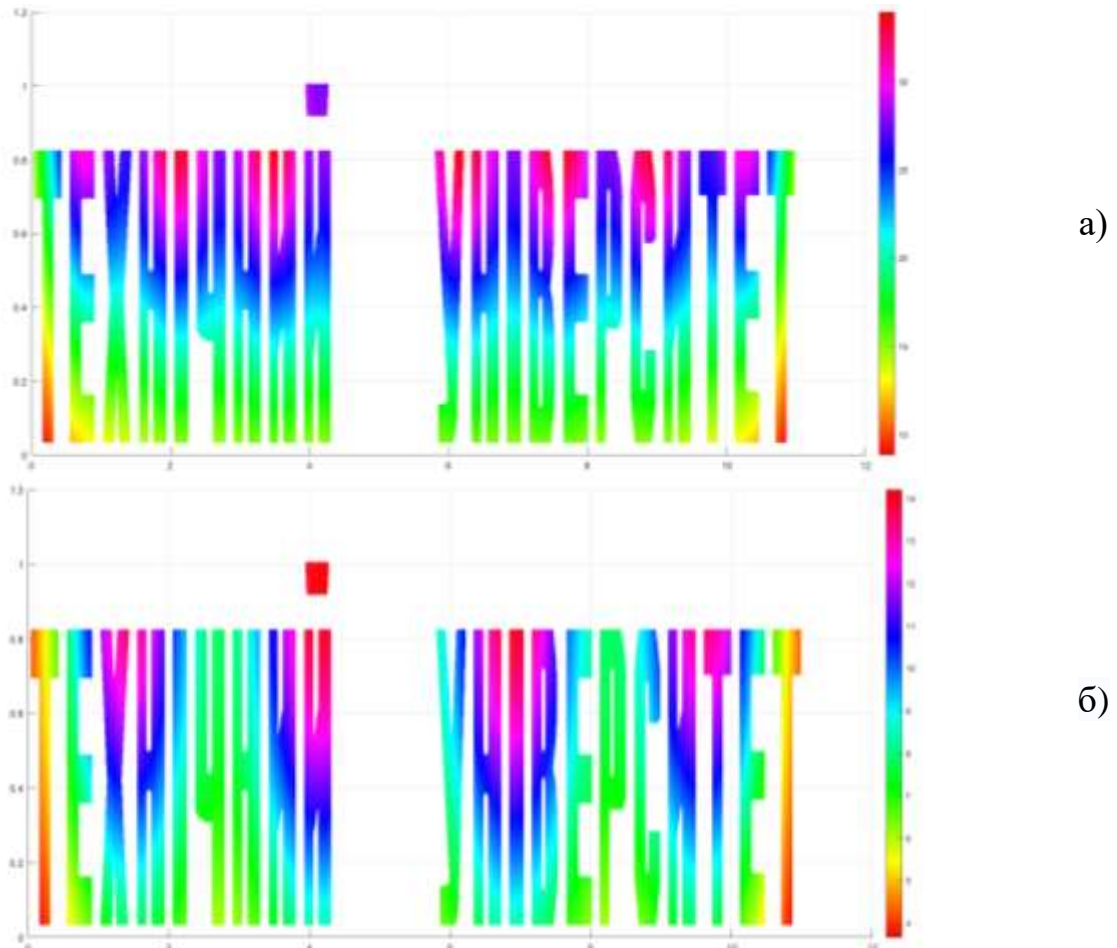


Рисунок 2.13 – Графіки розподілу яскравості безпосередньо на лицевих поверхнях літер надпису

а) – $H = 1,0$ м, $N = 8$; б) – $H = 1,5$ м, $N = 4$

Як видно із вищеприведених результатів, таке розміщення світлових приладів та їх кількість здатне забезпечити відношення максимальної до максимальної освітленості (яскравості) в межах значень 3,9.

2.4 Моделювання системи підсвічування лайтбоксу за допомогою пакету «MATLAB»

Яскравість елемента A поверхні із дифузним пропусканням визначимо по аналогії з формулою (2.10), замінивши при цьому коефіцієнт відбивання ρ на коефіцієнт пропускання τ_A , котрий для елементів котрі попадають безпосередньо на надпис становить $\tau_A = \tau_1 \cdot \tau_2 = 0,75 \cdot 0,7 = 0,53$ та $\tau_A = \tau_1 = 0,75$ – для елементів, де надпис відсутній. Звідси

$$L_A = \frac{M_A}{\pi} = \frac{\tau_A \cdot E_A}{\pi}. \quad (2.24)$$

Освітленість елемента A , аналогічно як і для системи зовнішнього підсвічування з врахуванням того, що $\alpha_u = \beta_u$

$$E_A = \Phi \cdot \frac{\cos \alpha \cdot \cos \beta}{\pi \cdot d^2}. \quad (2.25)$$

Освітленість E_{AN} елемента A поверхні від N джерел світла, аналогічно як і для системи зовнішнього підсвічування з врахуванням того, що $\alpha_u = \beta_u$, визначимо за формулою

$$E_{AN} = \frac{\Phi}{\pi} \cdot \sum_{u=1}^{u=N} \frac{\cos^2 \alpha_u}{d_u^2}. \quad (2.26)$$

Ввівши координатну систему (рис. 2.14) та присвоївши координати $A(x_A, y_A, 0)$, $S_1(x_{S1}, y_{S1}, H)$, $S_2(x_{S2}, y_{S2}, H)$, ..., $S_N(x_{SN}, y_{SN}, H)$, отримаємо

$$d_u = S_u A = \sqrt{(x_A - x_{Su})^2 + (y_A - x_{Su})^2 + H^2}, \quad (2.27)$$

$$\cos \alpha_u = \frac{H}{S_u A} = \frac{H}{\sqrt{(x_A - x_{Su})^2 + (y_A - x_{Su})^2 + H^2}}. \quad (2.28)$$

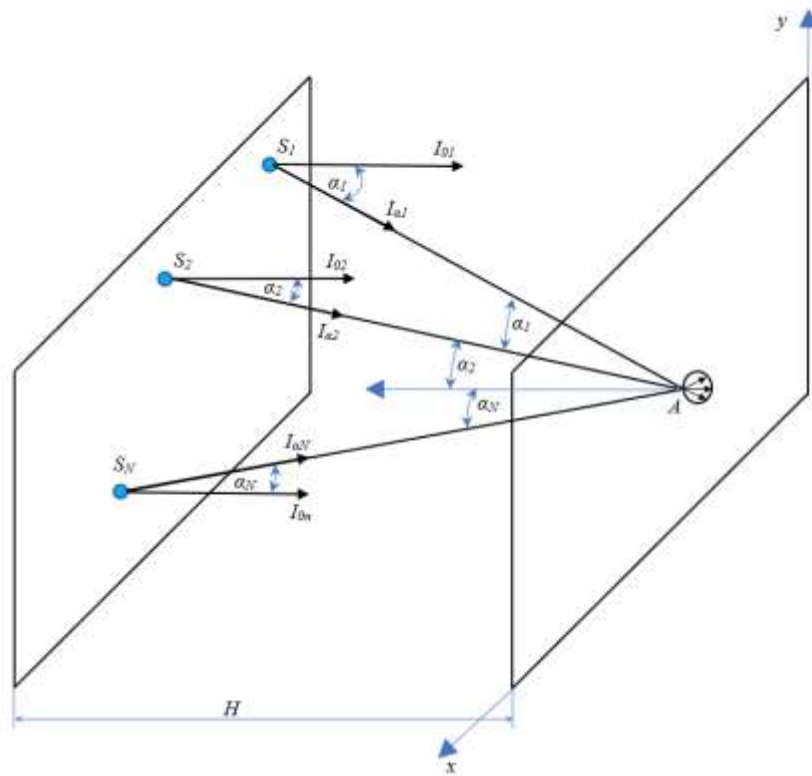


Рисунок 2.14– Геометрична схема для розрахунку освітленості на внутрішній поверхні екрану лайтбокса

2.4.1 Аналіз результатів моделювання

Для моделювання було вибрано лайтбокс розмірами 1 м×1 м та глибиною $H = 0,1$ м. Поле світловиpromінювального елемента було розбито на 10000 частинок, тобто вимір по координаті x та y розбито на 100 рівних частин кожна.

Розміщення джерел світла було рівномірним, тобто відстань між ними та їх рядами зберігалась однаковою (рис. 2.15) а їх кількість становила від 0 до 10000. Світловий потік при цьому кожного джерела становив 1 лм.

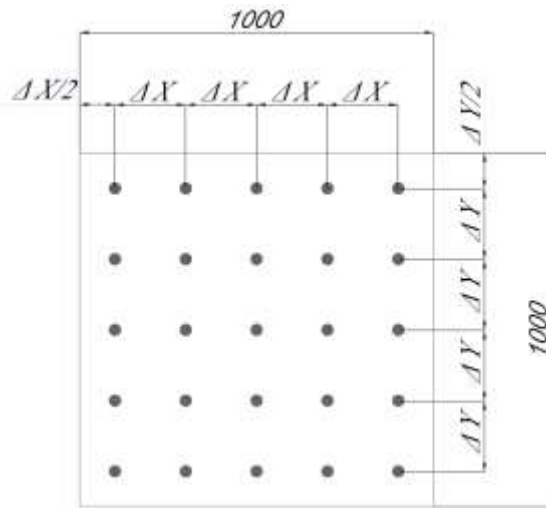


Рисунок 2.15 – Розміщення джерел світла

В результаті розрахунку отримано графіки розподілу освітленості по внутрішній поверхні екрану (рис 2.16 а) та яскравості випромінювання (2.16 б) екрану лайтбокса. Крім того, було розраховано значення мінімальної, середньої та максимальної освітленості та яскравостей, а також коефіцієнтів їх рівномірності. Результати розрахунку подано в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Результати розрахунку освітленості внутрішньої поверхні та яскравості поверхні екрану лайтбокса розміром 1 м×1 м та глибиною 0,1 м при використанні джерел світла зі світловим потоком 1000 лм

Відстань між ДС, м		Кількість ДС	E_{\min} , лк	$E_{\text{сеп}}$, лк	E_{\max} , лк	L_{\min} , кд/м ²	$L_{\text{сеп}}$, кд/м ²	L_{\max} , кд/м ²	$L_{\max}/L_{\text{сеп}}$
ΔX	ΔY								
0,01	0,01	10000	2479,71	9683,43	8269,16	384,79	1283,18	1502,64	1,17
0,02	0,02	2500	619,93	2420,88	2067,88	96,20	320,89	375,66	1,17
0,04	0,04	625	154,98	605,25	517,56	24,05	80,31	93,92	1,17
0,05	0,05	400	99,18	387,35	331,53	15,39	51,45	60,11	1,17
0,10	0,10	100	24,23	99,47	83,56	3,76	12,97	15,44	1,19
0,20	0,20	25	4,39	39,63	21,57	0,68	3,35	6,15	1,84
0,25	0,25	16	2,23	34,88	14,05	0,35	2,18	5,41	2,48
0,33	0,33	9	0,85	32,94	8,10	0,13	1,26	5,11	4,07
0,50	0,50	4	0,19	31,94	3,72	0,03	0,58	4,96	8,58
1,00	1,00	1	0,01	31,83	0,97	0,00	0,15	4,94	32,87

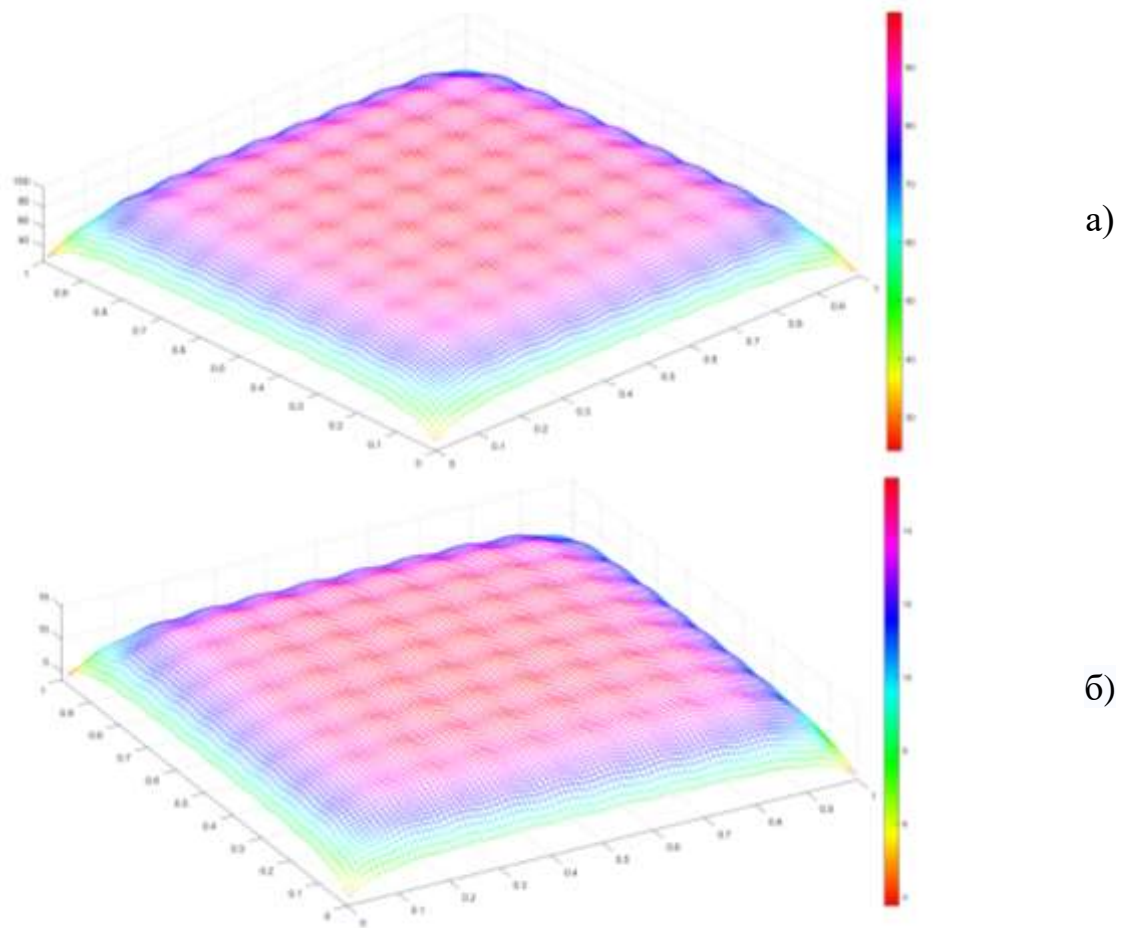


Рисунок 2.13 – Графіки розподілу освітленості (а) та яскравості (б) по поверхні екрану лайтбокса розміром 1 м×1 м та глибиною 0,1 м при освітленні 100 джерелами світла зі світловим потоком 1 лм кожне

Як видно із результатів розрахунку, відношення максимальної до середньої яскравості перевищуватиме 5 при використанні 4 або менше джерел світла на 1 м² світної поверхні лайтбоксу. При кількості джерел світла від 9 до 400 на 1 м² спостерігається зниження $L_{\max}/L_{\text{сер}}$ від 4,07 до 1,17. Подальше зростання кількості джерел світла на 1 м² світної поверхні лайтбоксу впливу на $L_{\max}/L_{\text{сер}}$ не має.

2.5 Висновки до розділу

1. Об'єктом проектування є надпис «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ», виконаний у формі об'ємних літер із полікарбонату і встановлений на фасаді

корпусу №7 Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.. Встановлено, що поверхня надпису має розміри 1,015 м на 1,005 м. Висота основної частини літер становить 0,8 м. Коефіцієнт відбивання лицевої поверхні літер - 0,3.

2. В пакеті «DIALUX» виконано розрахунок освітленості поверхні об'єкта проєктування. Встановлено, виконання умови $E_{\max}/E_{\min} \leq 5$ можна досягти, якщо дотримуватись відстаней між світловими приладами із косинусною кривою сили світла. Ці відстані мають становити не більше 1,4 м при розміщенні світлових приладів на відстані 1 м від розрахункової поверхні та 2,9 м при відстані 1,5 м від розрахункової поверхні.

3. На основі аналізу результатів розрахунку освітленості від системи зовнішнього підсвічування надпису встановлено, що розбіжність між результатами, отриманих за допомогою «DIALux» та інженерного методу із використанням пакету «MATLAB» не перевищує 3,64 %.

4. В пакеті «MATLAB» розраховано значення освітленості та яскравості, створених на поверхнях об'єктів від систем зовнішнього та внутрішнього підсвічування.

3.ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розробка програми для розрахунку світлотехнічних параметрів об'єктів рекламного освітлення

Для виконання розрахунку освітленості та яскравості дифузновідбиваючої та поверхні з дифузним пропусканням на основі відповідно формул (2.11), (2.17) – (2.22) та (2.24) – (2.28) в пакеті «MATLAB» було створено спеціальну програму, алгоритм якої приведено на рис. 3.1.

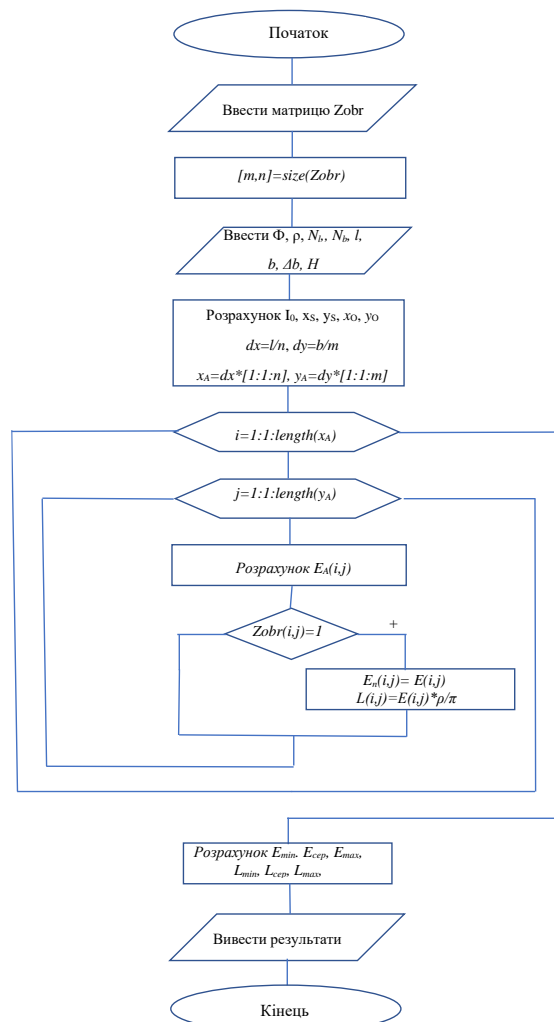


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму програми розрахунку освітленості та яскравості дифузновідбиваючої поверхні

Матриця зображення $Zobr$ – це бінарна матриця, елементи котрої дорівнюють нулю або одиниці. Дану матрицю було отримано із фрагменту зображення корпусу в зоні надпису, одержаного за допомогою цифрової фотокамери. Даний фрагмент завантажувався в пакет «MATLAB» переконвертовувався із класу `uint8` в клас `double`, після чого файл зображення у вигляді трикомпонентної матриці перетворювався із системи кольорів RGB в колірний простір XYZ. Перехід виконувався на основі матричного добутку:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = M \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

де M – матриця коефіцієнтів переходу, яка має вигляд

$$M = \begin{pmatrix} 0,607 & 0,174 & 0,200 \\ 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ 0,000 & 0,066 & 1,116 \end{pmatrix}$$

Після чого тим елементам, координата кольоровості яких Y становила вище, ніж 124 (елементи розташовані поза межами літер надпису) присвоювались значення 0, а всім іншим елементам – значення 1. В результаті було отримано бінарну матрицю $Zobr$, візуалізацію значень якої приведено на рис. 3.2.

Значення координат розрахункових точок визначались на основі кількості стовпців та рядків матриці зображення $Zobr$, а також розміру надпису, а значення координат розміщення світлових елементів – на основі їх кількості рядів та їхньої кількості в одному ряду.

Розрахунок освітленості виконувався за допомогою циклу по елементах i , j , які набували значень від одиниці до значень розмірів матриці зображення.

Оскільки освітленість кожної точки є сумою освітленостей, які створюються кожним світлим елементом, то для її розрахунку було

використано спеціальну підпрограму, алгоритм якої представлено на рис. 3.3.

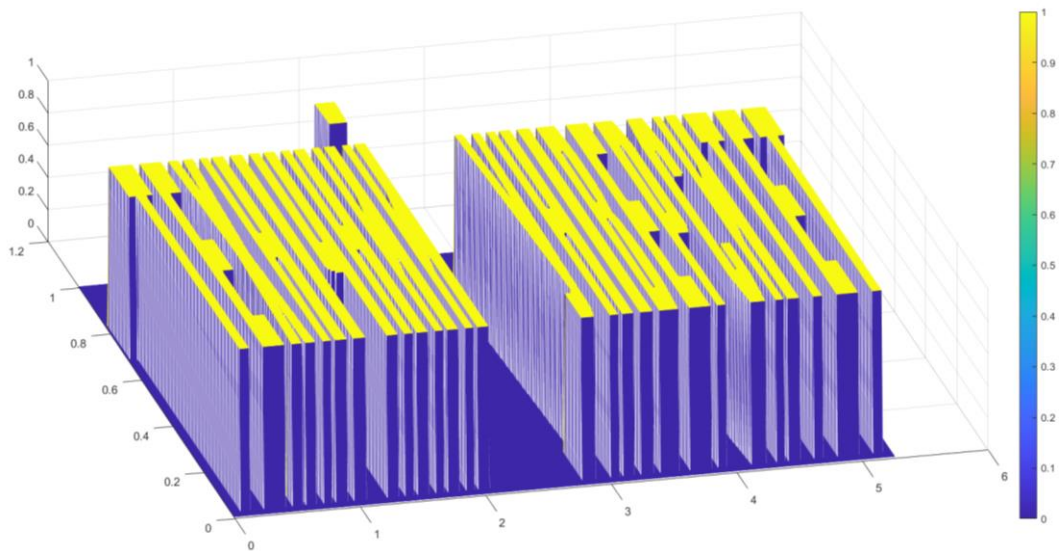


Рисунок 3.2 – Візуалізація значень матриці зображення надпису

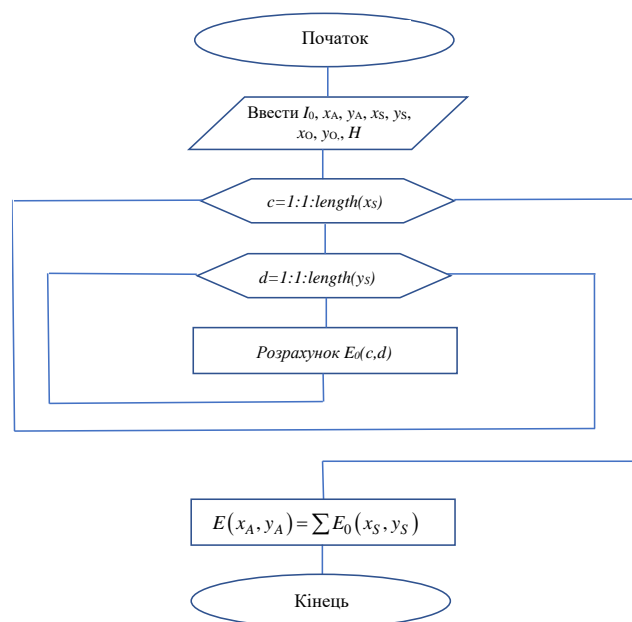


Рисунок 3.3 – Блок-схема алгоритму підпрограми розрахунку освітленості в конкретній точці розрахункової поверхні від декількох світних елементів

Введення значень осьової сили світла, відстані від світних елементів до освітлювальної площини, а також координат розміщення розрахункових точок,

джерел світла та точок перетину напрямів осьової сили світла із площиною розрахунку виконується із основної програми.

Аналогічно, як і в основній програмі розрахунок освітленості в точці від кожного джерела випромінювання здійснюється за допомогою циклу, проте по елементах c , d , які набували значень від одиниці до значень розмірів матриці координат розміщення світлових елементів.

В межах циклу розраховувалась складова освітленості в розрахунковій точці від кожного окремого джерела світла. Значення освітленості кожної точки отримувалось шляхом сумування складових.

Для отримання значень яскравості в межах надпису алгоритмі програми використано оператор розгалуження, в результаті чого для точок, розміщених в межах поверхнях літер надпису розраховувалась яскравість, для інших точок – значень не присвоювалось.

Завершальними етапами програми розрахунку є розрахунок середніх значень освітленості та яскравості по всій поверхні надпису та в межах його літер.

Результати виводились у формі графіків розподілу освітленості та яскравості по розрахункових поверхнях.

Блок схема розрахунку освітленості та яскравості для випромінювальної поверхні лайтбоксу є практично аналогічною до тієї, що зображено на рис. 3.1. Різницею є те, що в цій схемі при виконанні оператора розгалуження розраховуються окремо освітленості та яскравості надпису та фону (Додаток А).

3.2 Світлотехнічний розрахунок та вибір світлових приладів для системи зовнішнього підсвічування надпису

В п. 2.2 та 2.3 розрахунково-дослідницького розділу встановлено, що для забезпечення $E_{\max}/E_{\min} \leq 5$ на лицевій поверхні надпису розмірами $l = 11,015$ м та

$b = 1,005$ м необхідно використати 8 світлових приладів із косинусною кривою сили світла, розміщених на відстані $H = 1,0$ м від розрахункової площини надпису або 4 світлових прилади із такою ж кривою сили світла, розміщених на відстані $H = 1,5$ м.

Використання цих світлових приладів із світловим потоком 1000 лм дає змогу створити наступні рівні середньої яскравості:

при 8 світильниках, розміщених на відстані $H = 1,0$ м – 24,6 кд/м²;

при 4 світильниках, розміщених на відстані $H = 1,5$ м – 9,1 кд/м².

Розрахуємо необхідні значення світлового потоку світлових приладів для забезпечення середньої яскравості 200 кд/м², як передбачено в [6]. Оскільки надпис знаходиться на поверхні фасаду, то відповідно до вимог, котрі висуваються для архітектурного освітлення необхідно прийняти коефіцієнт запасу $K_s = 1,3$.

Значення світлового потоку світлових приладів визначимо з наступних міркувань:

якщо 8 світлових приладів із світловим потоком 1000 лм кожен створюють середню яскравість 24,6 кд/м², то для створення такою ж кількістю світлових приладів яскравості 200 кд/м² необхідно, щоб їх світловий потік становив:

$$\frac{200 \cdot 1000}{24,6} = 8130 \text{ лм.}$$

Із врахуванням коефіцієнта запасу

$$1,3 \cdot 8130 = 10569 \text{ лм.}$$

Аналогічно для 4 світлових приладів:

$$\frac{200 \cdot 1000}{9,1} = 21978 \text{ лм;}$$

$$1,3 \cdot 21978 = 28571 \text{ лм.}$$

Варіант із використанням 4 світлових приладів до уваги не беремо, оскільки потужність світлових приладів із світловим потоком 29000 лм становить в межах 300 Вт, що вимагає використання більш масивних світлових приладів, а отже ускладнює чи унеможлиблює підбір кріпильних елементів.

Для варіанту із 8 світловими приладами виберемо світловий прилад прожекторного типу марки BVP165 LED110/830 PSU 100W SWB CE (рис. 3.4) [12], технічні характеристики якого приведено в табл. 3.1.



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд прожектора BVP165 LED110/830 PSU 100W SWB CE

Таблиця 3.1 – Характеристики прожектора BVP165 LED110/830 PSU 100W SWB CE

Потужність, Вт	100
Світловий потік, лм	11000
Світлові віддача, лм/Вт	110
Кут розсіювання, град	110
Індекс кольоропередачі	>80
Клас електрозахисту	I
Розміри, мм	35 x 312 x 220
Маса, кг	1,760

Для даних світлових приладів та заданого розміщення виконано розрахунок значень освітленості та яскравості в пакетах «DIALux» та «MATLAB». Результати розрахунку приведено в табл. 3.2, а відповідні діаграми розподілу освітленості та яскравості – на рис. 3.4 та 3.5.

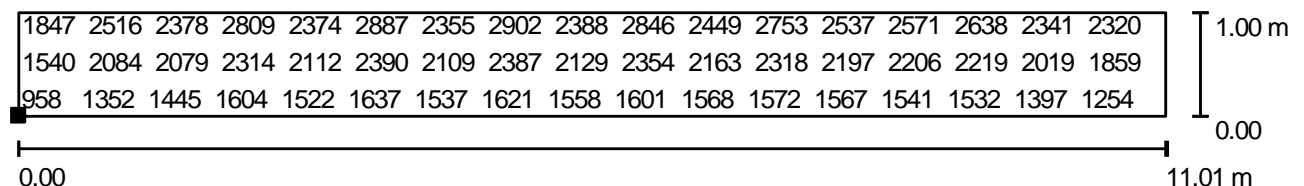
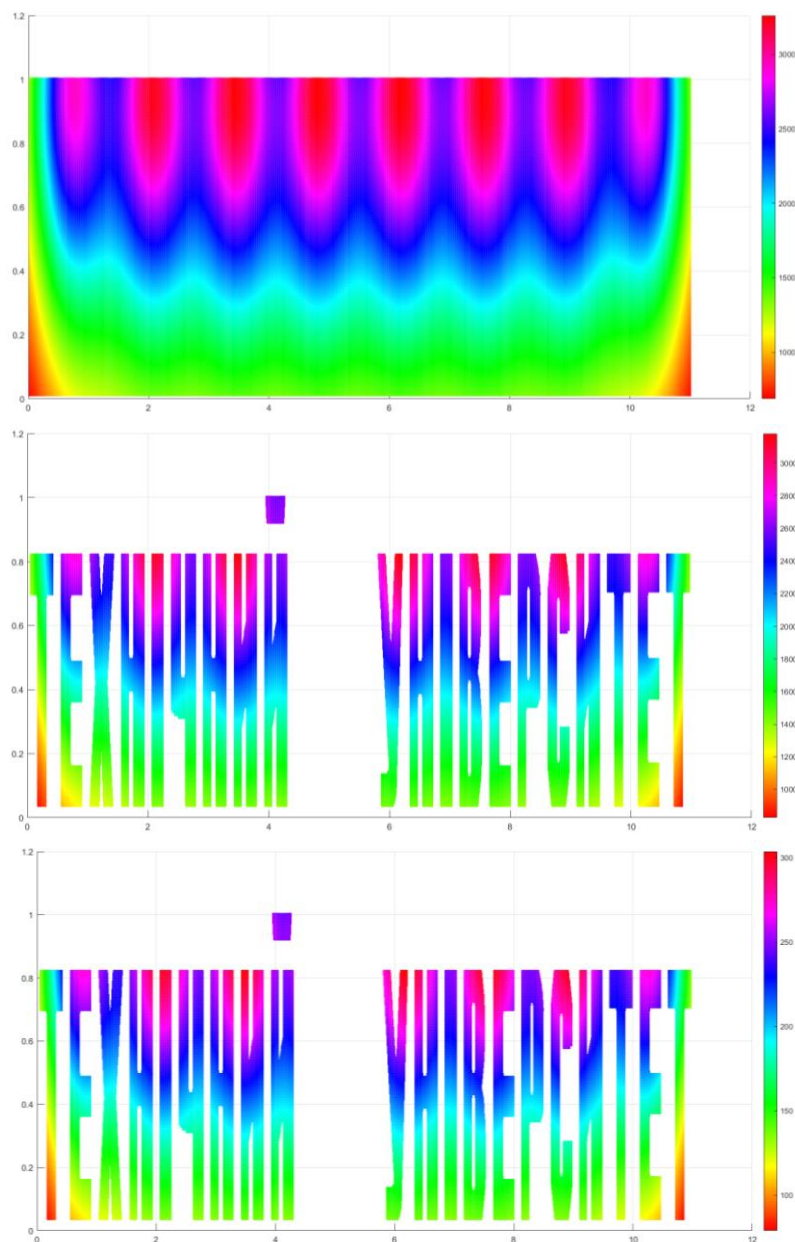


Рисунок 3.4 – Графік розподілу освітленості по розрахунковій поверхні надпису, отриманий в пакеті «DIALux»

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку системи зовнішнього підсвічування надпису 8 прожекторами типу BVP165 LED110/830 PSU 100W SWB CE

Розрахункова поверхня						Поверхня літер надпису					
«DIALux»			«MATLAB»								
E_{\min} , лк	$E_{\text{сеп}}$, лк	E_{\max} , лк	E_{\min} , лк	$E_{\text{сеп}}$, лк	E_{\max} , лк	E_{\min} , лк	$E_{\text{сеп}}$, лк	E_{\max} , лк	L_{\min} , кд/м ²	$L_{\text{сеп}}$, кд/м ²	L_{\max} , кд/м ²
705	2029	2907	687	2177	3259	826	2104	3180	79	201	304



а)

б)

в)

Рисунок 3.5 – Графіки розподілу освітленості по розрахунковій поверхні (а), освітленості (б) та яскравості (в) по поверхні літер надпису

Як видно із результатів розрахунку така система підсвічування повністю задовільняє нормативні вимоги щодо яскравості та розподілу освітленості. Потужність такої системи підсвічування надпису становить 0,800 кВт.

3.3 Світлотехнічний розрахунок та вибір джерел світла для системи підсвічування лайтбокса

Розрахуємо необхідну кількість точкових джерел світла для забезпечення необхідного рівня яскравості випромінювальної поверхні лайтбоксу. При цьому розрахунок приведемо для двох частин надпису окремо, а саме частини із надписом «ТЕХНІЧНИЙ» та із надписом «УНІВЕРСИТЕТ».

В пункті 2.4 розрахунково-дослідницького розділу встановлено для квадратного лайтбокса площею 1 м^2 залежності відношення середньої яскравості випромінювальної поверхні до мінімальної та середньої яскравості поверхні, від кількості джерел світла та відстані між ними при умові, що світловий потік кожного джерела світла становить 1 лм. Графіки таких залежностей приведено відповідно на рис. 3.6 та 3.7.

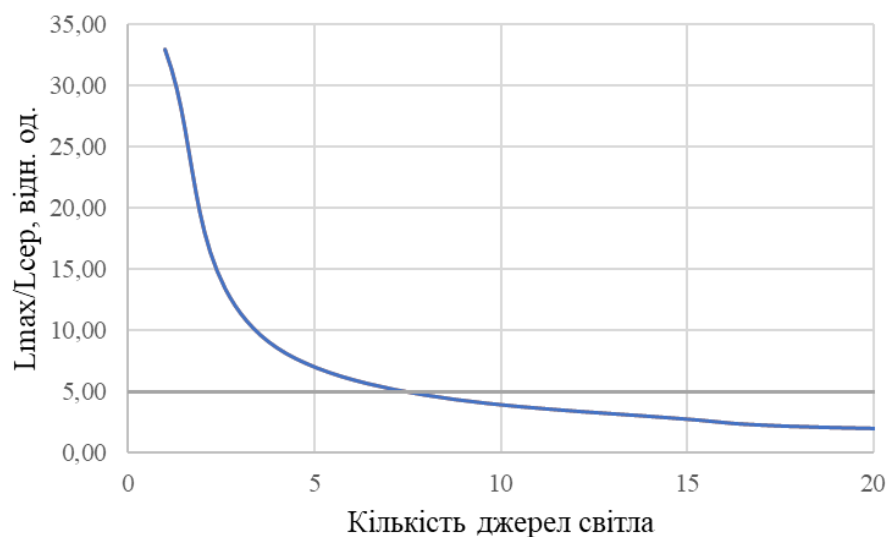


Рисунок 3.6 – Залежність відношення $L_{\max}/L_{\text{сер}}$ від кількості джерел світла для випромінювальної поверхні лайтбоксу квадратної форми площею 1 м^2

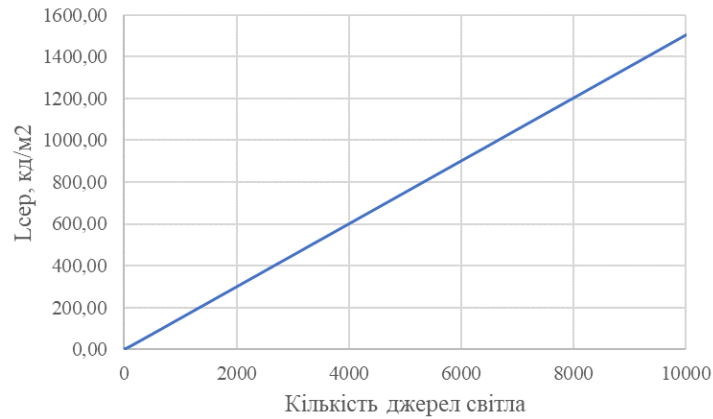


Рисунок 3.7 – Залежність відношення середньої яскравості від кількості джерел світла для випромінювальної поверхні лайтбоксу квадратної форми площею 1 м²

У відповідності із рис. 3.6 для забезпечення виконання умови $L_{\max}/L_{\text{сер}} \leq 5$ на площу 1 м² використаємо 9 джерел світла. Для лайтбокса із надписом «ТЕХНІЧНИЙ» розмірами 4,355 м на 1,005 м кількість джерел світла становить

$$\frac{4,355 \cdot 1,005}{1} \cdot 9 = 39 \text{ шт.},$$

а для лайтбоксу із надписом «УНІВЕРСИТЕТ» розмірами 5,265 м на 1,005 м – в

$$\frac{5,265 \cdot 1,005}{1} \cdot 48 = 48 \text{ шт.}$$

Світловий потік джерел світла $\Phi_{\text{ДС}}$ визначимо, виходячи зі співвідношення:

$$\Phi_{\text{ДС}} = \frac{K_3 \cdot L_{\text{сер.норм}}}{\Phi_1 \cdot L_{\text{сер.розн.}}}, \quad (3.2)$$

де $K_3 = 1,3$ – коефіцієнт запасу;

$L_{\text{сер.норм}} = 200 \text{ кд/м}^2$ – нормоване значення середньої яскравості;

$L_{\text{сер}} = 1,26 \text{ кд/м}^2$ – розрахункове значення середньої яскравості на площі 1 м²,

створеної 9 джерелами світла.

Підставивши значення для K_z , $L_{\text{сер.норм}}$, $L_{\text{сер}}$ та $\Phi_1 = 1 \text{ лм}$ у формулу (3.2), отримаємо

$$\Phi_{\text{ДС}} = \frac{1,3 \cdot 200}{1 \cdot 1,26} = 206 \text{ лм}$$

Для даної системи підсвічування в якості джерел світла попередньо вибираємо світлодіодні модулі типу BRT COB 2.4W (рис. 3.8) [13] із світловим потоком 240 лм.



Рисунок 3.8 – Зображення світлодіодного модуля типу BRT COB 2.4W



Рисунок 3.9 – Зовнішній вигляд світлодіодного модуля типу BRT XG5 3030-1 led W 1.5W

Для даної кількості світлодіодів та заданого світлового потоку з допомогою розробленої програми виконаємо розрахунок середньої, максимальної та мінімальної яскравостей. При розрахунку розтаavimo світлодіоди таким чином, щоб їх кількість по координаті зі стороною 1,005 м становила 3. Результати розрахунку представлено в табл. 3.3.

Як видно із даної таблиці, 39 світлодіодів потужністю 2,4 Вт здатні забезпечити середню яскравість 317,58 кд/м². З метою зниження потужності лайтбокса зменшимо кількість світлодіодів до 36, тобто приберемо ряд із трьома світлодіодами. В результаті середня яскравість понизиться до 287,73, проте відношення $L_{\text{max}}/L_{\text{сер}}$ перевищуватиме 5. Аналогічна ситуація буде при використанні 9 рядів із чотирма світлодіодами.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку яскравості лайтбокса із надписом «ТЕХНІЧНИЙ»

Тип світлодіодів	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Кількість, шт			L_{min} , кд/м ²	$L_{сер}$, кд/м ²	L_{max} , кд/м ²	$L_{max}/L_{сер}$	Потужність системи підсвічування
			N_A	N_B	N					
BRT COB 2.4W	2,4	240	13	3	39	37,13	317,58	1449,69	4,56	93,6
			12	3	36	32,13	287,73	1439,30	5,00	86,4
			9	4	36	25,04	292,27	1470,27	5,03	86,4
BRT XG5 3030-1 led W 1.5W	1,5	150	13	3	39	23,20	198,49	906,06	4,56	58,5
			10	4	40	20,26	202,46	922,31	4,56	60,0

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку яскравості лайтбокса із надписом «УНІВЕРСИТЕТ»

Тип світлодіодів	Потужність, Вт	Світловий потік, лм	Кількість, шт			L_{min} , кд/м ²	$L_{сер}$, кд/м ²	L_{max} , кд/м ²	$L_{max}/L_{сер}$	Потужність системи підсвічування
			N_A	N_B	N					
BRT COB 2.4W	2,4	240	16	3	48	38,29	314,37	1449,89	4,61	115,2
			12	4	48	31,85	309,07	1474,37	4,77	115,2
			15	3	45	34,17	291,44	1445,19	4,96	108,0
			14	3	42	30,04	275,22	1438,94	5,23	100,8
BRT XG5 3030-1 led W 1.5W	1,5	150	15	3	45	21,36	182,15	903,24	4,96	67,5
			16	3	48	23,93	196,48	906,18	4,61	72,0
			12	4	48	19,90	193,17	921,48	4,77	72,0
			17	3	51	26,49	210,81	911,69	4,32	76,5

Ще одним способом зниження потужності системи внутрішнього підсвічування лайтбокса є зниження потужності джерел світла. З цією метою застосуємо світлодіоди типу BRT XG5 3030-1 led W 1.5W (рис. 3.9) [14] потужністю 1,5 Вт та світловим потоком 150 лм. Як видно із результатів розрахунку при використанні таких світлодіодів середня яскравість становитиме 200 та більше лк при використанні в системі підсвічування 10 рядів по 4 світлодіоди у кожному. На основі порівняння двох варіантів вибираємо варіант із 40 світлодіодами сумарною потужністю 60,0 Вт, що на 35,9 % нижче, ніж варіант із 39 світлодіодами та сумарною 93,6 Вт.

Аналогічно виконуємо розрахунок і для лайтбокса із надписом «УНІВЕРСИТЕТ». На підставі результатів, наведених в табл. 3.3 вибираємо варіант із використанням 51 світлодіод типу BRT XG5 3030-1 led W 1.5W.

Графіки розподілу яскравості по поверхнях надписів «ТЕХНІЧНИЙ» та «УНІВЕРСИТЕТ» приведені в ДОДАТКУ Б.

3.4 Вибір схеми та джерела живлення лайтбоксів

Для живлення світлодіодів у лайтбоксі виберемо схему із паралельним їх включенням від блоку живлення – АС/DC перетворювача, позначеному на схемі БЖ (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 – Схема живлення світлодіодів в лайтбоксах

Потужність блоку живлення $P_{БЖ}$ виберемо, виходячи із умови:

$$P_{БЖ} = k_3 \cdot \sum P_{led} \quad (3.3)$$

де $k_3 = 1,25$ – коефіцієнт запасу;

$$\sum P_{led} = (51 + 40) \cdot 1,5 = 136,5 \text{ Вт} \text{ – сумарна потужність світлодіодів.}$$

Підставивши значення для k_3 та $\sum P_{led}$ у формулу (3.3), отримаємо:

$$P_{БЖ} = 1,25 \cdot 136,5 = 171 \text{ Вт.}$$

На основі отриманого значення $P_{БЖ}$ вибираємо блок живлення (рис. 3.11) потужністю 180 Вт із вихідною напругою 12 В та струмом 15 А [15].

3.5 Висновки до розділу

1. Розроблено алгоритм та програми, за допомогою яких можна розраховувати освітленість та яскравість дифузновідбиваючих та поверхонь із дифузним пропусканням.

2. Виконано світлотехнічний розрахунок для системи зовнішнього підсвічування надпису «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ» розмірами 1,015 м на 1,005 м з коефіцієнтом відбивання лицевої поверхні літер 0,3. В результаті розрахунку встановлено, що для забезпечення середньої яскравості поверхонь літер на рівні не менше 200 кд/м² необхідно використати 8 світлових приладів типу BVP165 LED110/830 PSU 100W SWB CE. Потужність такої системи підсвічування становить 0,800 кВт.

3. Виконано світлотехнічний розрахунок системи внутрішнього підсвічування для лайтбоксів із надписами «ТЕХНІЧНИЙ» та «УНІВЕРСИТЕТ» розмірами відповідно 4,355 м на 1,005 м та 5,265 м на 1,005 м та глибиною 0,1 м. В результаті розрахунку встановлено, що для забезпечення яскравості лайтбоксів на рівні не нижче 200 кд/м² необхідно використати відповідно 40 та

51 світлодіод марки BRT XG5 3030-1 led W 1.5W. Сумарна потужність такого об'єкта світлової реклами становить 0,180 кВт.

4. Встановлено, що потужність об'єкта світлової реклами типу лайтбокс для надпису «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ» є в 4,44 рази нижчою за потужність системи зовнішнього підсвічування.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Вплив ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання на організм людини.

У промисловості і побуті набули масового застосування прилади та обладнання, робота яких пов'язана з використанням або утворенням в процесі роботи електромагнітних випромінювань оптичного діапазону, до яких належать електромагнітні коливання з довжиною хвиль від 5 нм до 1000 нм. Ділянками випромінювання оптичного діапазону є: ультрафіолетова (5 – 380 нм), видима (380 – 770 нм) та інфрачервона (770 нм – 1 мм). Інфрачервона область включає короткохвильову (0,77 – 1,5 мкм), середньохвильову (1,5 – 20 мкм) і довгохвильову (20 мкм – 1 мм) ділянки.

Природнім джерелом ультрафіолетового випромінювання є сонце. Штучними джерелами є електричні дуги, лазери, газорозрядні джерела світла. За способом генерації ультрафіолетове випромінювання належить до теплового, але за своєю дією подібне до іонізуючого випромінювання.

Спектр ультрафіолетового випромінювання поділяється на три області: довгохвильову (УФА); середньохвильову (УФВ) та короткохвильову (УФС) УФС. Ультрафіолетові випромінювання довгохвильової області відзначаються слабкою біологічною дією. Середньо- та короткохвильові ультрафіолетові промені, в основному, впливають на шкіру та очі людини. Значні дози опромінення можуть спричинити професійні захворювання шкіри (дерматити) та очей (електроофтальмію). Випромінювання ультрафіолетового діапазону впливають також на центральну нервову систему, що проявляється у вигляді болі голови, підвищення температури тіла, відчуття розбитості, передчасної втоми, нервового збудження тощо. Крім того, несприятлива дія цих променів може посилюватись завдяки ефектам, що властиві для цього виду випромінювань, а саме іонізації повітря та утворенні озону.

Ультрафіолетове випромінювання характеризується двоюкою дією на організм людини: з одного боку, небезпекою гієропромінення, а з іншого – його необхідністю для нормального функціонування організму, оскільки ультрафіолетові промені є важливим стимулятором основних біологічних процесів. Природне освітлення, особливо сонячні промені, є достатнім для організму людини джерелом ультрафіолетового випромінювання, тому його відсутність або ж недостатність може створити певну небезпеку.

Для захисту людей від інтенсивного опромінення ультрафіолетовими променями потрібним є виконання наступних заходів: раціональне розташування робочих місць; забезпечення необхідної відстані від джерел випромінювання; екранування джерел випромінювання; екранування робочих місць засобами індивідуального захисту.

Найбільш раціональним методом захисту вважається екранування (укриття) джерел УФ-випромінювань. Як матеріали для екранів застосовують, зазвичай, непрозорі металеві листи або світлофільтри. До засобів індивідуального захисту належать: спецодяг (костюми, куртки, білі халати), засоби для захисту рук (тканинні рукавички), лиця (захисні щитки) та очей (окуляри з спеціальними фільтрами).

Залежно від довжини хвилі інфрачервоне випромінювання поділяється на короткохвильове з довжиною хвилі від 0,76 до 1,4 мкм та довгохвильове – понад 1,4 мкм. Саме довжина хвилі значною мірою обумовлює проникну здатність інфрачервоного випромінювання. Найбільшу проникну здатність мають короткохвильові інфрачервоні випромінювання, які впливають на органи та тканини організму людини, що знаходяться на глибині кількох сантиметрів від поверхні тіла. Промені довгохвильового діапазону затримуються поверхневим шаром шкіри.

Інфрачервоне випромінювання здійснює на організм людини, в основному, теплову дію. Тому джерелами інфрачервоного випромінювання є будь-які нагріті тіла, причому їх температура й визначає інтенсивність теплового випромінювання. Вплив інфрачервоного випромінювання на людину може бути

загальним та локальним і призводить, зазвичай, до підвищення температури. При довгохвильових випромінюваннях підвищується температура поверхні тіла, а при короткохвильових – органів та тканин організму, до яких здатні проникнути промені. Більшу небезпеку являють собою короткохвильові випромінювання, які можуть здійснювати безпосередній вплив на оболонки та тканини мозку і тим самим призвести до виникнення теплового удару. Людина при цьому відчуває запаморочення, біль голови, порушується координація рухів, настає втрата свідомості. Інфрачервоне випромінювання впливає на організм людини, порушуючи його нормальну діяльність та функціонування органів і систем організму, що може призвести до появи професійних та професійно зумовлених захворювань. Ступінь впливу інфрачервоного випромінювання залежить від ряду чинників: спектру та інтенсивності випромінювання, площі випромінювальної поверхні; розмірів ділянок тіла людини, що опромінюються; тривалості впливу; кута падіння променів.

У промисловості джерелами інтенсивного випромінювання хвиль інфрачервоного спектру є: нагріті поверхні стін, печей та їх відкриті отвори, ливарні та прокатні стани, струмені розплавленого металу, нагріті деталі та заготовки, різні види зварювання та плазмової обробки.

До основних заходів та засобів щодо зниження шкідливої дії інфрачервоного випромінювання належать:

- зниження інтенсивності випромінювання джерел шляхом удосконалення технологічних процесів та устаткування;
- раціональне розташування устаткування, що є джерелом інфрачервоного випромінювання;
- автоматизація та дистанційне керування технологічними процесами.

4.2 Оцінка стійкості роботи промислових електротехнічних підприємств до впливу вражаючих факторів ядерної зброї

У повсякденному житті та розвитку сучасного суспільства значних

людських втрат, екологічних та економічних збитків, шкоди навколишньому середовищу завдають надзвичайні ситуації техногенного, екологічного, природного, соціального та воєнного характеру. Вивчення причин виникнення аварій, катастроф та особливостей впливу уражаючих факторів, тих чи інших надзвичайних ситуацій на людей, тварин, рослин, сільськогосподарську продукцію, воду, а також знання методів і способів запобігання їх виникненню та уміння своєчасної і якісної ліквідації їх негативних наслідків може значно зменшити ураження людей та мінімізувати загальні збитки.

Під стійкістю роботи промислового об'єкта розуміють його здатність протистояти руйнівним силам аварій, катастроф і стихійного лиха, вражаючих факторів сучасної зброї, можливість в екстремальних умовах випускати продукцію в запланованому обсязі і номенклатурі, а також можливість у мінімальні строки відновлювати порушене виробництво.

Стійкість роботи промислового підприємства складається із :

– стійкості інженерно-технічного комплексу /будівель, споруд, систем енерго-, газо-, водозабезпечення, технологічного обладнання і т.п./ до дії зовнішніх факторів при аваріях, катастрофах, стихійному лихові, а також при застосуванні щодо них сучасної зброї;

– стійкості виробничої діяльності /захист виробничого персоналу, надійність систем управління, постачання, поновлення роботи в найкоротші терміни.

Для об'єктів, що не виробляють матеріальні цінності (транспорт, зв'язок), під стійкістю їх роботи розуміють здатність виконувати свої функції у надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу.

Основні принципи стійкості:

1. базування на директивній, нормативній і плановій основі;
2. проведення заходів на всій території держави;
3. завчасна розробка і проведення заходів по підвищенню стійкості;
4. диференційований підхід (чим важливіше значення підприємства, тим вище ступінь захисту).

Дослідження стійкості роботи ОГ полягає у всебічному вивченні умов, які можуть скластися у надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу, і у визначенні їх впливу на виробничу діяльність. Мета дослідження стійкості об'єкта господарювання полягає в тому, щоб виявити вразливі місця в роботі ОГ у надзвичайних ситуаціях і виробити найефективніші рекомендації, спрямовані на підвищення стійкості.

Оцінка стійкості об'єкта господарювання до впливу вражаючих факторів здійснюється за наступними критеріями:

1. До впливу повітряної ударної хвилі (ПУХ). За кількісний показник стійкості до ПУХ приймається значення надлишкового тиску, при якому будівлі, споруди, обладнання і комунально-енергетичні мережі об'єкта зберігаються або зазнають слабких чи середніх руйнувань.

2. До впливу теплового (світлового) випромінювання. Як показник стійкості об'єкта до впливу теплового (світлового) випромінювання береться мінімальне значення теплового (світлового) імпульсу, при якому може статися загоряння матеріалів чи конструкцій будівель й споруд, у результаті чого виникнуть пожежі на об'єкті. Це значення світлового імпульсу прийнято вважати межею стійкості об'єкта до впливу теплового (світлового) імпульсу.

3. До впливу радіоактивного зараження. Як критерій стійкості об'єкта в умовах радіоактивного зараження має граничне значення рівня радіації на об'єкті, при якому ще можлива виробнича діяльність у звичайному режимі з двома повними змінами, повний робочий день і при цьому персонал не дістане дозу випромінювання, більшу установленої.

4. До впливу електромагнітного імпульсу ядерного вибуху (ЕМІ). Як показник стійкості роботи об'єкта в умовах впливу ЕМІ ядерного вибуху прийнятий коефіцієнт безпеки K , який визначає відношення гранично допустимого наведеного струму або напруги U_d до наведеного, тобто створеного ЕМІ в даних умовах U_e , що вимірюється у децибелах (Дб):

$$K = 201g \frac{U_d}{U_c}$$

Стійкість системи в цілому визначається за мінімальним значенням коефіцієнта безпеки елементів, що входять до її складу. За результатами досліджень розробляється план заходів по підвищенню стійкості роботи об'єкта у надзвичайних ситуаціях. Визначаються вартість впровадження заходів, джерела фінансування, сили і засоби, терміни виконання і відповідальні за виконання особи. План заходів, які проводяться силами об'єкта, затверджується керівником підприємства - начальником Цивільної оборони.

На кожному підприємстві, виходячи з його призначення, розташування і специфіки виробництва, заходи по підвищенню стійкості можуть бути різні.

Дослідження стійкості роботи – це різноманітне вивчення випадків, які можуть статися на підприємстві в мирний час і в воєнні часи, а також оцінка їх впливу на виробничу діяльність. Мета досліджень – виявити слабкі місця в роботі (ОГ) в умовах надзвичайних ситуацій (НС) і підготувати найбільш ефективні рекомендації по підвищенню його стійкості.

Дослідження стійкості роботи ОГ проводиться в мирний час силами інженерно-технічного персоналу об'єкта без відриву від виробництва. До роботи можуть залучатися працівники науково-дослідних і проектно-конструкторських організацій. Керівник досліджень – начальник цивільної оборони об'єкта. Час проведення досліджень – два, три місяці. Весь процес планування і проведення досліджень розділяють на три етапи:

Перший етап – підготовчий: розробка керівних документів (наказ, календарний план, план проведення досліджень), визначення складу дослідницької групи і її підготовка.

Другий етап – головний: оцінка стійкості роботи елементів і об'єкта взагалі в умовах надзвичайних ситуацій (НС); збір необхідних даних; аналіз можливих наслідків ураження і оцінка працездатності; дослідження особливостей режиму

роботи об'єкта; дослідження стійкості управління та систем матеріально-технічного забезпечення; умови захисту робітників і службовців.

Третій етап – заключний: розробка заходів підвищення стійкості роботи підприємства, де узагальнюються отримані результати і виявляються слабкі місця, розробляють план заходів по підвищенню стійкості роботи об'єкта. Для проведення досліджень на ОГ створюють дослідні групи: начальника відділу капітального будівництва, головного енергетика, головного механіка, головного технолога, відділу матеріального забезпечення, група штабу цивільної оборони об'єкта. Для узагальнення результатів дослідження створюють групу керівника дослідження, яку очолює головний інженер підприємства. Кожна група спеціалістів в другому періоді роботи оцінює стійкість елементів виробничого комплексу і проводить необхідні розрахунки по кожному із факторів ураження ядерного вибуху. В третьому періоді групи спеціалістів готують доповіді з висновками і пропозиціями по підвищенню стійкості елементів. При цьому додають необхідні таблиці, схеми, плани. Група керівника досліджень готує узагальнену доповідь і розробляє план заходів по підвищенню стійкості роботи ОГД в умовах НС.

В мирний час плануються заходи, які потребують великих матеріальних затрат і часу. На період загрози нападу противника плануються заходи, які можуть бути легко реалізовані чи виконання яких в мирний час недоцільно і навіть неможливе. План заходів, який виконується силами об'єктів, затверджується керівниками підприємства – начальником ЦО, а план заходів, який потребує великих матеріальних затрат, надається для затвердження старшому начальнику. Заходи по підвищенню стійкості роботи ОГД в умовах НС проводяться як в мирний час, так і при загрозі нападу противника. На кожному підприємстві, виходячи із його призначення, розміщення і специфіки виробництва, заходи по підвищенню стійкості можуть бути різними.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Проаналізовано види світлової реклами, визначено їх переваги та недоліки. 2. Наведено технічні вимоги до об'єктів зовнішньої та світлової реклами, зокрема вимоги щодо їх розміщення.

2. На основі аналізу світлотехнічних вимог встановлено, що регламентованою світлотехнічною характеристикою рекламних світлових об'єктів є яскравість, зокрема середня та максимальна габаритна. Рівні яскравості визначаються від способу, висоти встановлення встановлення об'єкта та від категорії вулиці, де цей рекламний об'єкт встановлено. Окрім того, об'єкти світлової реклами не повинні засвічувати вікна розташованих поруч житлових будинків та палат лікувальних закладів, що регламентовано допустимими рівнями освітленості вертикальних площин, яку ці об'єкти створюють.

3. В якості об'єкта проектування вибрано надпис «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ», виконаний у формі об'ємних літер із полікарбонату і встановлений на фасаді корпусу №7 Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Поверхня надпису має розміри 1,015 м на 1,005 м. Висота основної частини літер становить 0,8 м. Коефіцієнт відбивання лицевої поверхні літер –0,3.

4. В пакеті «DIALUX» виконано розрахунок освітленості поверхні об'єкта проектування. Встановлено, виконання умови $E_{\max}/E_{\min} \leq 5$ можна досягти, якщо дотримуватись відстаней між світловими приладами із косинусною кривою сили світла. Ці відстані мають становити не більше 1,4 м при розміщенні світлових приладів на відстані 1 м від розрахункової поверхні та 2,9 м при відстані 1,5 м від розрахункової поверхні.

5. Розроблено алгоритм та програми, за допомогою яких можна розраховувати освітленість та яскравість дифузновідбиваючих та поверхонь із дифузним пропусканням. На основі аналізу результатів розрахунку освітленості від системи зовнішнього підсвічування надпису встановлено, що розбіжність між результатами, отриманих за допомогою «DIALux» та інженерного методу із

використанням пакету «MATLAB» не перевищує 3,64 %.

В пакеті «MATLAB» розраховано значення освітленості та яскравості, створених на поверхнях об'єктів від систем зовнішнього та внутрішнього підсвічування.

6. Виконано світлотехнічний розрахунок для системи зовнішнього підсвічування надпису «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ» розмірами 1,015 м на 1,005 м з коефіцієнтом відбивання лицевої поверхні літер 0,3. В результаті розрахунку встановлено, що для забезпечення середньої яскравості поверхонь літер на рівні не менше 200 кд/м^2 необхідно використати 8 світлових приладів типу BVP165 LED110/830 PSU 100W SWB CE. Потужність такої системи підсвічування становить 0,800 кВт.

7. Виконано світлотехнічний розрахунок системи внутрішнього підсвічування для лайтбоксів із надписами «ТЕХНІЧНИЙ» та «УНІВЕРСИТЕТ» розмірами відповідно 4,355 м на 1,005 м та 5,265 м на 1,005 м та глибиною 0,1 м. В результаті розрахунку встановлено, що для забезпечення яскравості лайтбоксів на рівні не нижче 200 кд/м^2 необхідно використати відповідно 40 та 51 світлодіод марки BRT XG5 3030-1 led W 1.5W. Сумарна потужність такого об'єкта світлової реклами становить 0,180 кВт.

8. Встановлено, що потужність об'єкта світлової реклами типу лайтбокс для надпису «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ» є в 4,44 рази нижчою за потужність системи зовнішнього підсвічування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Світлова реклама та її види. URL:
<https://www.av.vn.ua/2024/02/13/svitlova-reklama/> (дата звернення: 07.11.2023)
2. Лайтбокси URL: <https://1-rk.com.ua/uk/lightbox/> (дата звернення: 07.11.2023)
3. Що таке світлові панелі? URL: :
<https://farolmedia.com.ua/ua/blog/what-is-lightbox> (дата звернення: 07.11.2023)
4. **Про затвердження типових правил розміщення зовнішньої реклами : Постанова Кабінету Міністрів України від 29.12.2003 р № 2067.** Із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ [№ 968 від 09.09.2009](#), [№ 495 від 23.05.2012](#), [№ 1173 від 16.12.2015](#), [№ 161 від 22.03.2017](#), [№ 457 від 09.05.2023](#). URL <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2067-2003-%D0%BF#n137> (дата звернення: 09.11.2023)
5. Правила улаштування електроустановок. Київ: Мінрегіонвугілля України, 2017. 617 с.
6. ДБН В.2.5 – 28 – 2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5 – 28 – 2006; чинний від 2019-03-01. Київ: Мінрегіон України, 2018. 137 с.
7. The IESNA LIGHTING HANDBOOK, Ninth Edition. Copyright © 2000 by the Illuminating Engineering Society of North America.
8. Назаренко Л.А. Світлотехнічні розрахунки: навч. посібник / Л.А. Назаренко, Т.В. Можаровська, В.С. Чернець; Харків. Нац.. ун-т міськ. Госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. – 142 с.
9. Белякова І.В. Світлотехнічний розрахунок систем світлової реклами // І.В. Белякова; Я.М. Осадца; Я.О. Марцинюк; М.М. Турдай – 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. 75.

10. Осадца Я.М. Курс лекцій з дисципліни “Світлотехнічні установки та системи” для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопіль: ТНТУ, 2020. 144 с.

11. Ляшенко О. М. Світлотехнічні установки та системи: конспект лекцій (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної і заочної форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / О. М. Ляшенко, Ю. О. Васильєва ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 90 с.

12. BVP165 LED110/830 PSU 100W SWB CE. URL: https://www.lighting.philips.ua/prof/outdoor-luminaires/sports-and-area-floodlighting/area-and-recreational-floodlighting/ledinaire-floodlights-gen3/911401846483_EU/product (дата звернення: 07.06.2024)

13. Світлодіодний модуль BRT COB 2.4W круглий 6500K, 12В, IP65 білий. URL: <https://5watt.ua/uk/svetodiodnyy-modul-brt-cob-24w-kruglyy-6500k-12v-ip65-belyy-4845.html> (дата звернення: 07.06.2024)

14. Світлодіодний модуль BRT XG5 3030-1 led W 1.5W 12В 6000K лінза бочка. URL: <https://5watt.ua/uk/svitlodiodnij-modul-brt-xg5-3030-1-led-w-15w-12v-6000k-linza-bochka-14397.html> (дата звернення: 10.06.2024)

15. Блок живлення 12В 15А (180Вт) штекер 5.5x2.5 . URL: <https://5watt.ua/uk/svitlodiodnij-modul-brt-xg5-3030-1-led-w-15w-12v-6000k-linza-bochka-14397.html> (дата звернення: 09.06.2024)

ДОДАТОК А

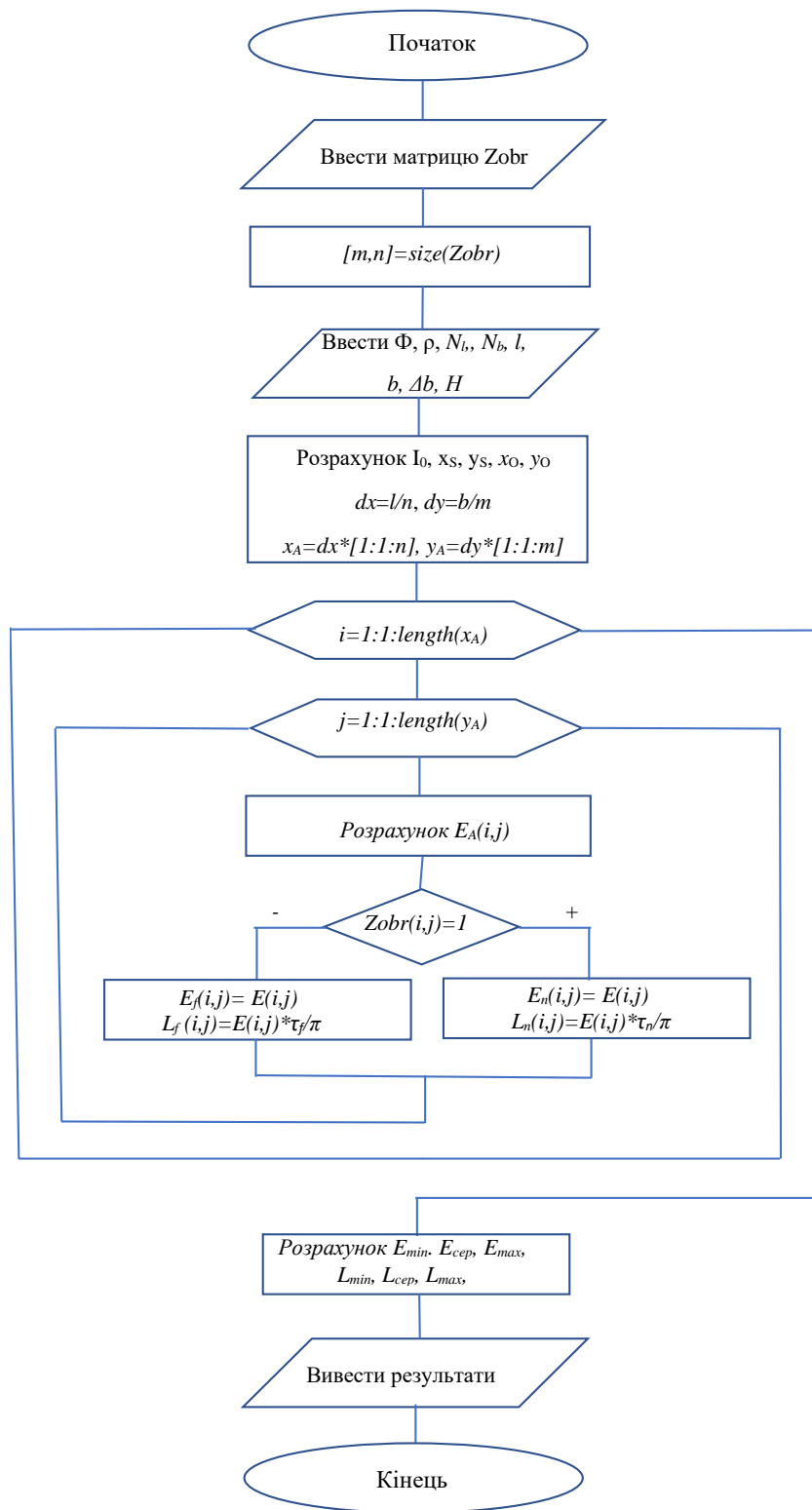


Рисунок А1 – Блок-схема алгоритму програми розрахунку освітленості та яскравості випромінювальної поверхні лайтбокса

Додаток Б

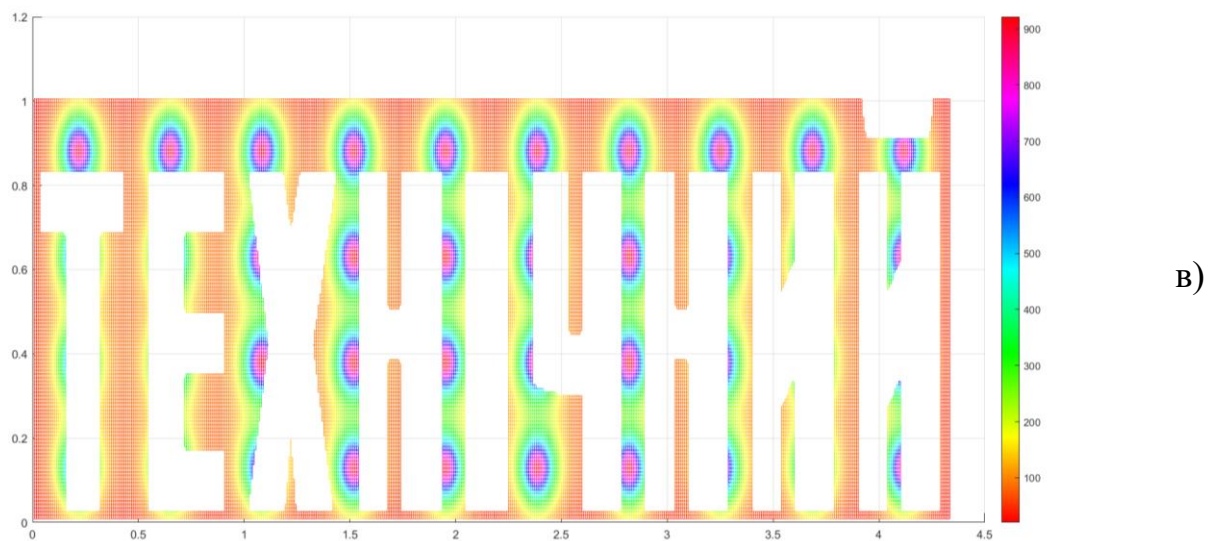
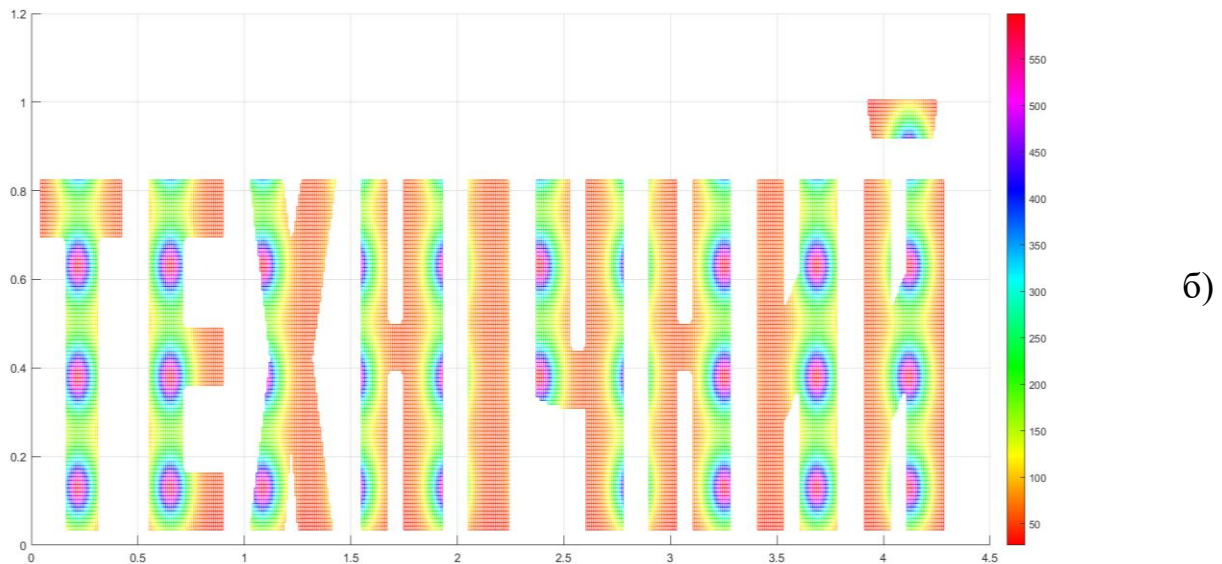
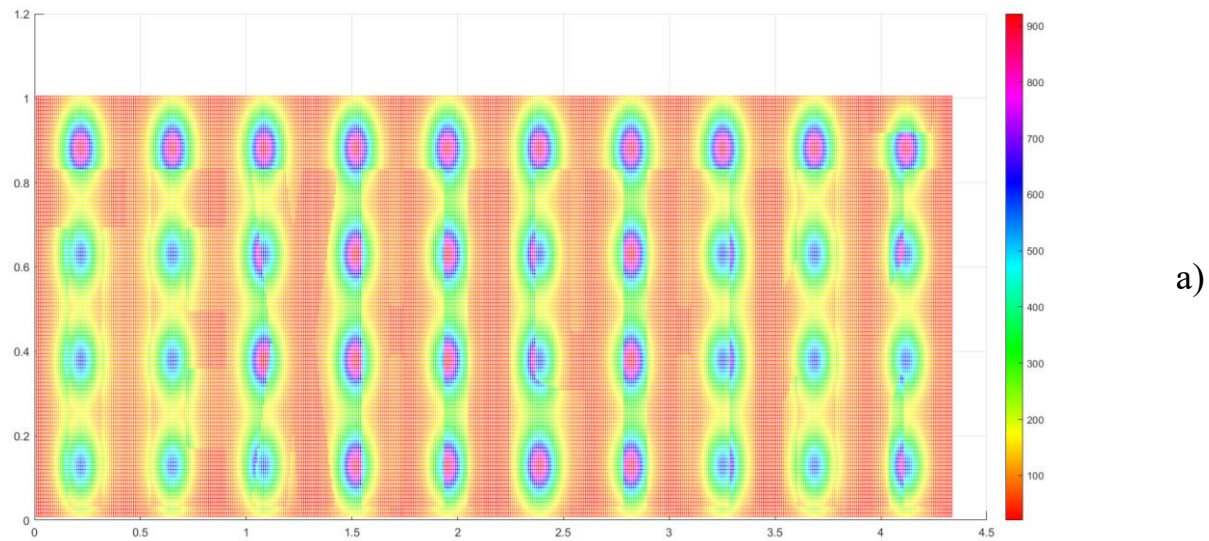


Рисунок Б1 – Графіки розподілу яскравості поверхні лайтбоксу із надписом

«ТЕХНІЧНИЙ»:

а) по всій поверхні; б) по поверхні надпису; в) по поверхні фону

Додаток Б

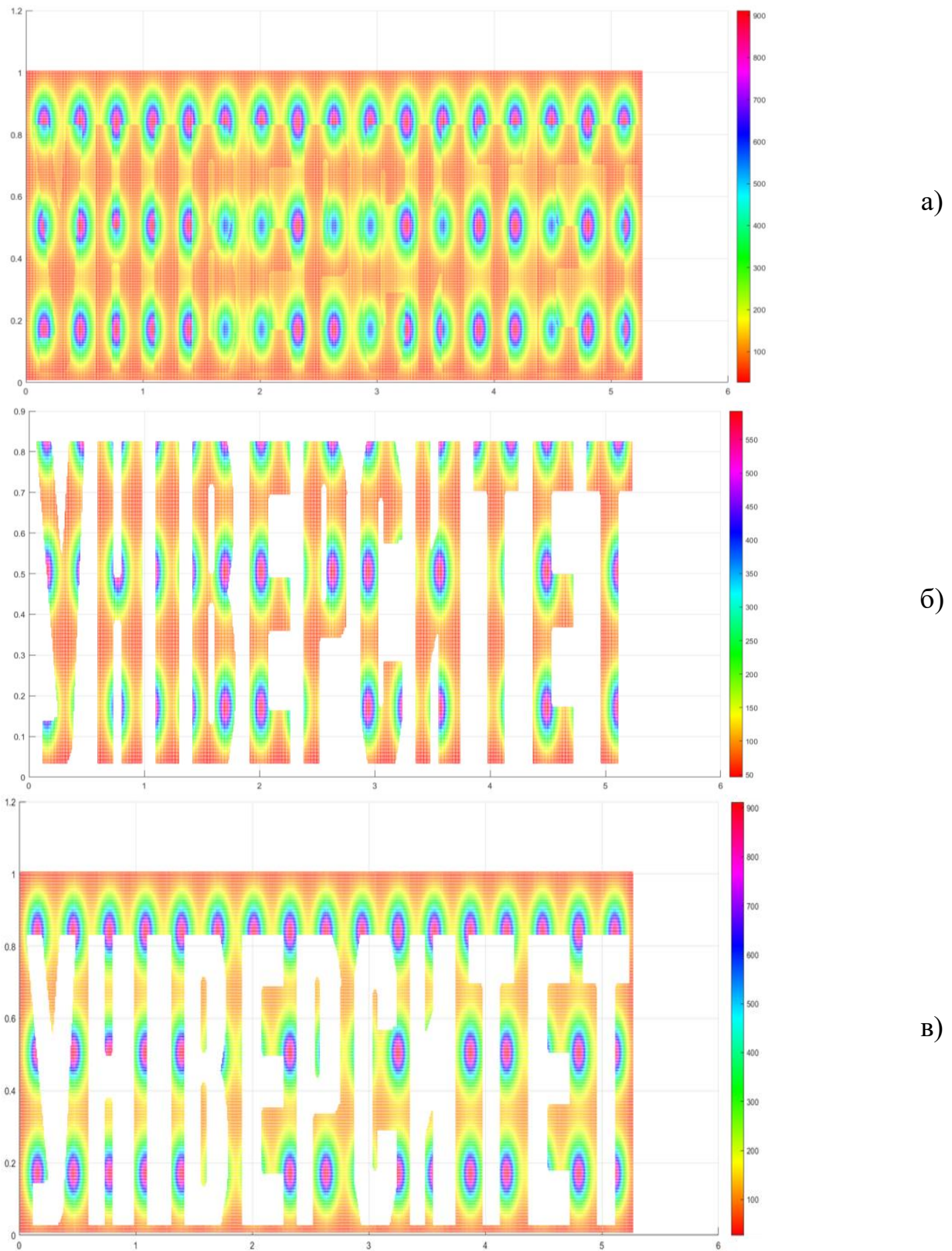


Рисунок Б1 – Графіки розподілу яскравості поверхні лайтбоксу із надписом «УНІВЕРСИТЕТ»:

а) по всій поверхні; б) по поверхні надпису; в) по поверхні фону