

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра “Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент”

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедри ЕТС та ЕМ
канд. техн. наук., професор
_____Петро ПЛЕШКОВ
“ ____ ” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої
освіти
на тему
“Підвищення енергоефективності системи
освітлення промислового об’єкту”

Виконав здобувач вищої освіти
2 курсу магістратури, групи ЕЕ-22М
ОПП «Електротехнічні системи
електроспоживання»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____Олександр САМОВИЧ
« ____ » _____ 2023 р.
Керівник роботи
канд. техн. наук, доцент
_____Василь ЗІНЗУРА
« ____ » _____ 2023 р.
Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Електротехнічні системи електроспоживання

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Плешков П.Г.

«___» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Самовича Олександра Олеговича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Підвищення енергоефективності системи освітлення промислового об'єкту

Improving the energy efficiency of the lighting system of an industrial facility

2. Керівник роботи (проекту) Зінзура Василь Васильович, канд. техн. наук., доц.

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту 28.12.2023 р

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту) Метою роботи є розробка енергоефективної системи освітлення промислового об'єкту (котельні). Завдання роботи: 1. Провести світлотехнічний розрахунок системи освітлення котельні з урахуванням нормативних вимог до освітленості. 2. Розробити тривимірну комп'ютерну модель котельні та розміщення в ній освітлювальних приладів, яка повинна враховувати можливі затінення робочих поверхонь обладнанням. 3. Здійснити вибір кількості та потужності напівпровідникових світильників для варіантів загального та комбінованого освітлення котельні. 4. Провести підбір аналогічних за освітленістю світильників на основі газорозрядних джерел світла та порівняння за енергоспоживанням з напівпровідниковими. 5. Провести електротехнічний розрахунок освітлювальної мережі та вибір перерізу кабелів і апаратів захисту на основі отриманих навантажень.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н, доц. Савеленко І.В.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
<i>1</i>	<i>Вступ</i>	<i>10.10.2023</i>	
<i>2</i>	<i>Аналіз сучасного стану питання підвищення рівня енергоефективності систем освітлення</i>	<i>13.10.2023</i>	
<i>3</i>	<i>Теоретичне дослідження методів розробки енергоефективних систем освітлення промислових об'єктів</i>	<i>30.10.2023</i>	
<i>4</i>	<i>Проектування енергоефективної системи освітлення приміщення котельні</i>	<i>15.11.2023</i>	
<i>5</i>	<i>Охорона праці</i>	<i>30.11.2023</i>	
<i>7</i>	<i>Висновки</i>	<i>07.12.2023</i>	
<i>8</i>	<i>Оформлення пояснювальної записки КР</i>	<i>11.12.2023</i>	
<i>9</i>	<i>Оформлення презентаційної частини КР</i>	<i>14.12.2023</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2023 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2023 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Самович О. О. Підвищення енергоефективності системи освітлення промислового об'єкту.

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ОПП «Електротехнічні системи електроспоживання». – Центральноукраїнський національний технічний університет. – м. Кропивницький, 2023 р.

Метою роботи є розробка енергоефективної системи освітлення промислового об'єкту (котельні).

Проведений в роботі аналіз показав, що для забезпечення високої енергоефективності при проектуванні чи реконструкції необхідне застосування енергозберігаючих джерел світла та світильників з ефективними кривими сили світла.

За допомогою світлотехнічного розрахунку методом коефіцієнта використання визначено кількість та потужність світильників для системи загального освітлення котельні розміром 18x18 м, та висотою 18 м. Було встановлено, що для забезпечення середньої освітленості 75 лк на рівні підлоги від групи світильників на висоті 13 м потрібно чотири світильники з КСС К та потоком 10800 лм і 2 світильники з потоком 13500 лм.

На основі 3D моделі котельні в DIALux EVO розраховано середню освітленість робочих поверхонь. Встановлено, що для забезпечення освітленості на рівні 75 лк на поверхнях проходів від світильників загального освітлення на різних рівнях, потрібно підвищити потужність установки до 1,2 кВт із застосуванням світильників зі світловіддачею 135 лм/Вт.

Ключові слова: система освітлення, енергоефективність, комп'ютерне моделювання

THE SUMMARY

Samovych O. O. Improving the energy efficiency of the lighting system of an industrial facility.

Specialty 141 – "Electric power, electrical engineering and electromechanics". – "Electrical power consumption systems". – Central Ukrainian National Technical University. – Kropyvnytskyi, 2023

The purpose of the work is to develop an energy-efficient lighting system for an industrial facility (boiler room).

The analysis carried out in the work showed that in order to ensure high energy efficiency during design or reconstruction, it is necessary to use energy-saving light sources and lamps with effective light intensity curves.

The number and power of lamps for the general lighting system of the boiler house with the size of 18x18 m and the height of 18 m were determined using the light engineering calculation using the utilization factor method. It was established that to ensure an average illumination of 75 lux at the floor level from a group of lamps at a height of 13 m, four lamps with KSS K with a flux of 10800 lm and 2 lamps with a flux of 13500 lm.

Based on the 3D model of the boiler room in DIALux EVO, the average illumination of the working surfaces is calculated. It was established that in order to provide illumination at the level of 75 lux on the surfaces of passages from general lighting lamps at different levels, it is necessary to increase the power of the installation to 1.2 kW using lamps with a light output of 135 lm/W.

Keywords: lighting system, energy efficiency, computer modeling

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ	12
1.1 Аналітичний огляд шляхів підвищення енергоефективності освітлення на промислових об'єктах.....	12
1.2 Аналіз основних вимог до систем освітлення котелень	14
1.3 Основні шляхи покращення енергоефективності систем освітлення котелень	16
Висновки до розділу	23
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРОБКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ.....	24
2.1 Огляд методів проведення світлотехнічного розрахунку для промислових об'єктів	24
2.2 Опис програмного пакету DIALux для здійснення світлотехнічних розрахунків.....	28
2.3. Визначення кількості освітлювальних приладів в системі освітлення котельні	38
2.4 Розрахунок коефіцієнта використання світлового потоку	45
2.5 Комп'ютерне моделювання і розрахунок системи освітлення котельні	48
Висновки до розділу	51
РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ ПРИМІЩЕННЯ КОТЕЛЬНІ	52
3.1 Основні характеристики приміщення котельні	52
3.2 Вибір освітлювальних приладів системи освітлення котельні	53

3.3	Визначення коефіцієнта запасу	55
3.4	Світлотехнічний розрахунок освітлення котельні методом коефіцієнта використання	56
3.5	Світлотехнічний розрахунок системи освітлення котельні з допомогою DIALux	60
3.6	Система освітлення приміщення котельні на основі газорозрядних ламп.....	64
3.7	Порівняння варіантів систем освітлення котельні	71
3.8	Проектування аварійного освітлення приміщення котельні	72
3.9	Розробка електричної частини освітлювальної мережі котельні.....	73
	Висновки до розділу	78
	РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	80
4.1	Основні причини ураження струмом в приміщеннях котелень.....	80
4.2	Аналіз небезпечних факторів, які виникають при експлуатації котелень	81
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	84
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	86

ВСТУП

Актуальність теми. Першорядне значення при доборі систем освітлення для виробничих приміщень мають точність зорових робіт, що повинні виконуватися, характерні особливості технологічних процесів на промисловому підприємстві, світлокліматична зона місцевості а також інші чинники. Умови освітленості у виробничих спорудах чинять величезний вплив на фізичний та емоційний стан працівників, на якість виконання завдань, на рівень травматизму.

Проте до освітлювального обладнання як виробничих, так і адміністративно-побутових приміщень висувають вимоги до енергоефективності. Головними напрямками підвищення енергоефективності освітлювальних установок є використання енергоефективним джерел світла з високими показниками світлової віддачі, а також використання світлових приладів на їх базі з ефективними кривими сили світла.

До факторів, які впливають на вибір систем освітлення, також належать: вид та інтенсивність зорових робіт; необхідні рівні освітленості робочих поверхонь; вік працівників та стан їх зору; наявність шкідливих, небезпечних або вибухонебезпечних речовин тощо.

Раціональне освітлення виробничих та адміністративних приміщень дає змогу поліпшити умови та безпеку праці, знизити втомлюваність персоналу, підвищити продуктивність роботи, скоротити кількість помилок і браку, що позитивно впливає на економічні показники підприємства.

Останнім часом набули широкого застосування в системах освітлення напівпровідникові джерела світла та освітлювальні прилади на їхній основі. Популярність пояснюється наявністю низки переваг: високою світловою ефективністю, тривалим терміном експлуатації, задовільними колориметричними характеристиками, екологічною безпечністю. Завдяки широкому спектру параметрів, можливо створювати освітлювальне

обладнання з практично будь-якими світлорозподільними властивостями.

Котельні цехи є важливими складовими функціонування промислових підприємств. Їх системи освітлення потребують ретельної уваги на етапі проектування. Нормативні документи встановлюють загальні вимоги до освітленості та безпеки, а конкретний вибір освітлювальних приладів залежить від особливостей котельного приміщення.

Отже є необхідність у розробці енергоефективних систем освітлення котелень на основі сучасних напівпровідникових джерел світла та оптимізованих під конкретні умови світлотехнічних рішень.

Мета і задачі роботи. Метою роботи є розробка енергоефективної системи освітлення промислового об'єкту (котельні).

Досягнення поставленої мети роботи реалізується через вирішення наступних задач:

1. Провести світлотехнічний розрахунок системи освітлення котельні з урахуванням нормативних вимог до освітленості.

2. Розробити тривимірну комп'ютерну модель котельні та розміщення в ній освітлювальних приладів, яка повинна враховувати можливі затінення робочих поверхонь обладнанням.

3. Здійснити вибір кількості та потужності напівпровідникових світильників для варіантів загального та комбінованого освітлення котельні.

4. Провести підбір аналогічних за освітленістю світильників на основі газорозрядних джерел світла та порівняння за енергоспоживанням з напівпровідниковими.

5. Провести електротехнічний розрахунок освітлювальної мережі та вибір перерізу кабелів і апаратів захисту на основі отриманих навантажень.

Об'єкт дослідження – процес розробки енергоефективних систем освітлення.

Предмет дослідження - енергоефективні напівпровідникові джерела світла та оптимізовані під умови котелень світлові прилади на їх основі для

створення якісних та економічних систем освітлення котельних цехів промислових підприємств.

Методи досліджень. Вирішення поставлених задач роботи відбувалося шляхом застосування методів комп'ютерного моделювання, теорії електричних кіл.

Наукова цінність роботи полягає у встановленні залежності коефіцієнта використання світлового потоку приміщень котелень від індексів кривих сили світла застосованих світлових приладів. Це дозволяє оптимізувати вибір джерел світла та конструкції світильників спеціально під конкретне приміщення.

Зокрема, на основі екстраполяції розрахункових залежностей вдалося визначити, що для котелень з індексом приміщення 0,55 коефіцієнт корисної дії становитиме 73,1-39,7% залежно від типу кривої сили світла, а для індексу 0,31 цей показник складе 59,5-28,3%.

Отримані результати дозволяють обґрунтовано підійти до вибору конкретних технічних рішень з освітлення котелень для забезпечення необхідних показників якості та енергоефективності.

Практична цінність полягає у розробці конкретних технічних рішень для систем освітлення реальної котельні з розмірами 18,0 x 18,0 м висотою 18 м. На основі комп'ютерного моделювання та світлотехнічних розрахунків було запропоновано та порівняно три варіанти освітлювальних установок, що забезпечують нормовані показники робочого та аварійного освітлення. В результаті встановлено, що найбільш енергоефективним є варіант комбінованої установки потужністю 0,882 кВт на основі напівпровідникових джерел світла для загального та місцевого освітлення робочих поверхонь. Запропоноване технічне рішення може бути впроваджене на виробництві, що дозволить значно підвищити енергоефективність систем освітлення реальних котелень.

Структура роботи. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Повний обсяг роботи складає 88 сторінок. Основна частина викладена на 79 сторінках друкованого тексту, містить 26 рисунків та 17 таблиць. Список використаних джерел містить 20 джерел та викладений на 3 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ

1.1 Аналітичний огляд шляхів підвищення енергоефективності освітлення на промислових об'єктах

Однією з ключових складових комфорту та безпеки на промислових об'єктах є система освітлення. Однак традиційні джерела світла, такі як люмінісцентні лампи та високої інтенсивності ртутні лампи, часто виявляються енергоємними та неефективними. У зв'язку з цим, важливим завданням для промислових об'єктів є перехід до енергоефективних та екологічно чистих рішень. У цій статті ми розглянемо питання підвищення енергоефективності систем освітлення на промислових об'єктах, зокрема зосереджуючись на використанні сучасного світлодіодного обладнання.

За останні кілька десятиліть стала актуальною необхідність підвищення енергоефективності в усіх сферах життя. Світлодіодні технології визнані одними з найбільш енергоефективних джерел світла на сьогоднішній день. Вони не тільки споживають значно менше електроенергії, але і мають довший термін служби, що робить їх ідеальним вибором для промислових об'єктів.

Розглянемо основні переваги світлодіодного освітлення в порівнянні з іншими його видами.

1. Енергоефективність. Однією з ключових переваг світлодіодних ламп є їхня висока енергоефективність. Вони можуть виробляти значно більше світла на один ватт електроенергії порівняно з традиційними джерелами світла. Це дозволяє зменшити витрати на електроенергію та покращити ефективність системи освітлення в цілому.

2. Довгий термін служби. Світлодіоди мають значно довший термін служби порівняно з традиційними лампами. Це означає менше замін та обслуговування, що в свою чергу зменшує витрати на обслуговування та перерви в роботі.

3. Екологічна чистота. Світлодіоди не містять небезпечних речовин, таких як ртуть, яка присутня в деяких інших типах ламп. Це робить їх екологічно чистим вибором, сприяючи створенню здорового та безпечного робочого середовища.

Впровадження світлодіодного освітлення на промислових об'єктах складається з наступних кроків.

1. Аналіз Енергоспоживання. Перший крок до підвищення енергоефективності системи освітлення – це аналіз поточного енергоспоживання. Проведення аудиту дозволяє визначити потреби об'єкта та визначити оптимальну конфігурацію світлодіодного обладнання.

2. Проектування оптимальної системи. На основі результатів аудиту розробляється проект оптимальної системи освітлення, враховуючи різноманітні фактори, такі як розміщення, особливості виробництва та вимоги безпеки.

3. Впровадження та моніторинг. Після проектування система світлодіодного освітлення впроваджується на об'єкті. Критично важливим етапом є систематичний моніторинг функціонування та ефективності системи для вчасного виявлення та вирішення будь-яких можливих проблем.

Підвищення енергоефективності в системах освітлення промислових об'єктів - це не лише можливість зменшення витрат на електроенергію, але і важливий крок до створення більш стійких та екологічно чистих підприємств. Використання сучасного світлодіодного обладнання стає вирішальним елементом в цьому процесі, надаючи промисловим об'єктам можливість забезпечити оптимальні умови освітлення при мінімальних витратах.

1.2 Аналіз основних вимог до систем освітлення котелень

Котельня або котельна установка – це приміщення, споруда, будівля чи їх комплекс із розміщеним пристроями та обладнанням, що призначені для генерації теплової енергії та її передачі до теплоносія, роль якого може виконувати гаряча вода чи водяна пара) що має на меті теплозабезпечення споживачів теплової енергії.

Залежно від подальшого використання теплової енергії, котельні класифікують на:

- енергогенерувальні, які типово інтегровані в комплекси електростанцій і забезпечують паром парогенератори для виробництва електрики;
- опалювально-технологічні, споруджені на підприємствах, котрі постачають тепло для систем обігріву, вентиляції, гарячого водопостачання виробничих об'єктів та технологічних процесів;
- житлово-громадські, призначені для забезпечення обігріву й гарячого водопостачання будівель соціальної та житлової сфер.

Залежно від масштабів теплопостачання, опалювальні котельні ділять на:

- локальні, як правило з водонагрівачами, максимальна температура води в яких 115°C , або парогенераторами з робочим тиском до 70 кПа, котрі опалюють одну чи декілька будівель;
- групові, з більш потужними паро- чи водонагрівачами, розміщені в окремих спорудах і котрі генерують тепло для групи будинків, кварталів чи мікрорайонів;
- районні, призначені для забезпечення теплом великих житлових масивів, обладнані потужними водонагрівачами чи парогенераторами.

За надійністю щодо генерації та подачі тепла, котельні диференціюють на дві категорії. До першої належать котельні, припинення роботи яких може

становити загрозу для людей чи спричинити значні матеріальні втрати. До другої відносять решту котелень.

Незважаючи на тип котелень, до їх освітлювальних систем висувають аналогічні вимоги, що й до промислових об'єктів, зокрема:

1. Забезпечення умов чіткого бачення працівників шляхом створення необхідного рівня освітленості на робочих місцях чи поверхнях;

Дослідження показують, що значення освітленості істотно впливає на роботу зору: зі збільшенням освітленості до 1000 люкс підвищується продуктивність і знижується стомлюваність, а подальше зростання посилює сліпучу дію об'єктів (рис. 1.1).

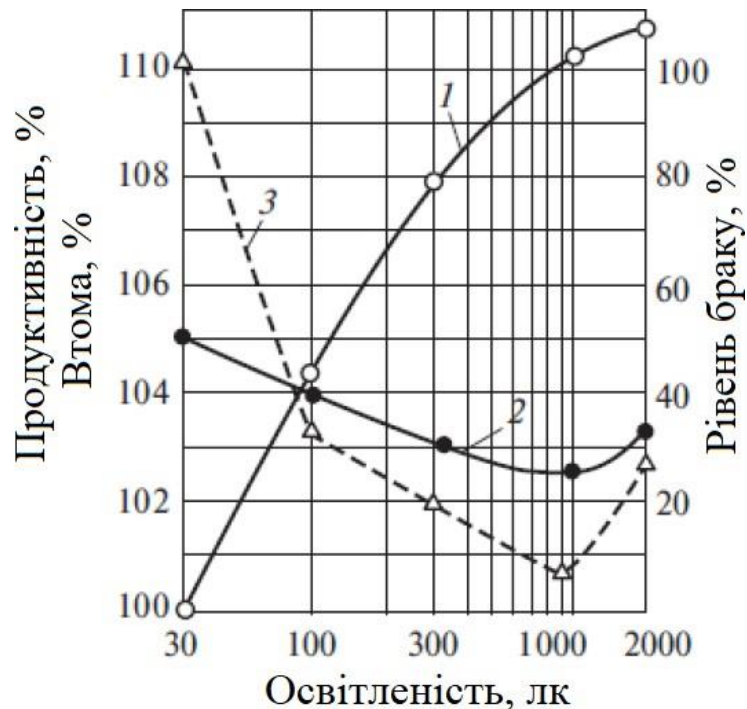


Рис 1.1. Залежність продуктивності праці робітників (1), рівня втоми робітників (2) та рівня браку виробництва (3) від рівня освітленості робочого місця працівників

Крім того, досліджено, що рівень бадьорості і працездатності залежить від освітлення вдень та вночі. Показано, що під час нічної зміни ступінь пробудження, який безпосередньо впливає на бадьорість, підвищується зі зростанням освітленості [5].

2. Відсутність засліплення, що може виникнути через невдалий вибір типу світильників, їх невірне розташування в приміщенні чи занижку висоту встановлення;

3. Створення умов для розрізнення кольору об'єктів, що забезпечується правильним підбором джерел світла за кольоропередачею;

4. Рівномірність розподілу освітлення на робочих поверхнях шляхом вибору світильників з потрібною кривою сили світла та їх кількістю і розміщенням;

5. Недопущення істотних змін освітленості на робочих місцях внаслідок коливань напруги в мережі чи механічних коливань світильників;

Виявлено, що при підвищенні коефіцієнта пульсацій від 6 до 55% освітленості, швидкість розрізнення після 45 хв роботи знижується на 18 %.

6. Відповідність світильників умовам середовища в приміщенні: підвищена вологість, наявність диму чи кіптяви тощо;

7. Забезпечення зручного обслуговування світильників для доступу до ламп, очищення відбивачів та розсіювачів.

Враховуючи недоліки експлуатації освітлення на майданчиках котлів, рекомендується по можливості розташовувати світильники на несучих конструкціях [6].

1.3 Основні шляхи покращення енергоефективності систем освітлення котелень

Нераціональне використання електроенергії в освітленні пов'язане з низьким коефіцієнтом корисної дії світильників та застосуванням неефективних кривих розподілу сили світла. Вирішення проблеми підвищення енергоефективності базується на:

1. Удосконаленні освітлювальних засобів шляхом використання джерел світла з високою світловою віддачею та ефективних світильників на їх основі.
2. Удосконаленні методів освітлення через впровадження нових підходів до проектування та нормування систем.
3. Зниженні експлуатаційних витрат за рахунок енергоефективних джерел світла, світильників та керування освітленням.
4. Стимулюванні споживачів до використання енергоощадних джерел світла.

Як бачимо, найпоширенішим методом підвищення енергоефективності освітлення є застосування високоефективних джерел світла у поєднанні зі світильниками з ефективними кривими сили світла.

Для цього проаналізуємо характеристики джерел світла. Вибір здійснюється на основі аналізу електричних (напруга, потужність), фотометричних (сила світла, світловий потік, світлова віддача, спектр випромінювання) і експлуатаційних (строк служби, робоча температура, вартість) параметрів.

За природою джерела світла поділяють на теплові, напівпровідникові та розрядні. В теплових випромінювання видимого діапазону відбувається за рахунок нагріву нитки розжарення струмом. Незважаючи на переваги ламп розжарення, як-от: простота експлуатації, порівняно низька вартість, високе значення індексу кольоропередачі (рис. 1.2), відсутність пускорегулювальних пристроїв, недоліки полягають у низькій світловій віддачі (7...40 лм/Вт) (див. рис. 1.3) та дуже низькому ресурсі (не більше 3 тис. годин) (рис. 1.4).

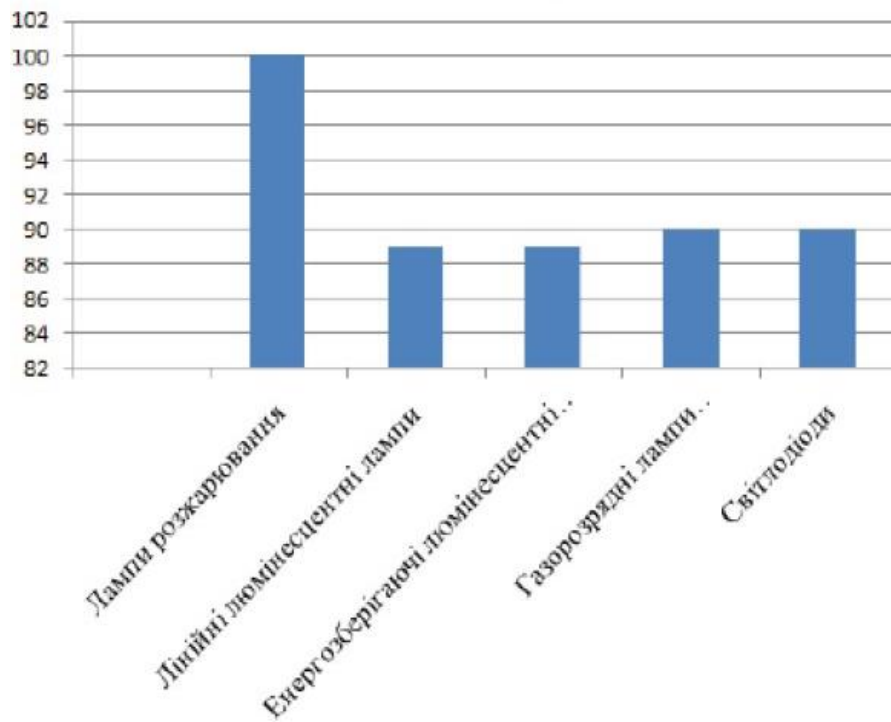


Рис. 1.2. Типові значення індексу кольоропередачі різних джерел світла

Саме ці недоліки а також кращі характеристики інших джерел світла частіше стають аргументом для відмови від ламп розжарення на користь їх застосування лише у випадках, де використання інших джерел ускладнене.

У газорозрядних ламп видиме випромінювання відбувається внаслідок перетворення люмінофором невидимого ультрафіолетового випромінювання, отриманого при електричних розрядах у середовищі парів металів і інертних газів, у видиме випромінювання. Основні переваги цих джерел у порівнянні з лампами розжарення - суттєво вищі рівні світлової віддачі (40-150 лм/Вт) та строку служби (8-20 тис. годин). Шляхом підбору газів, люмінофору, складу парів металу, можна забезпечити потрібний спектр світлового потоку.

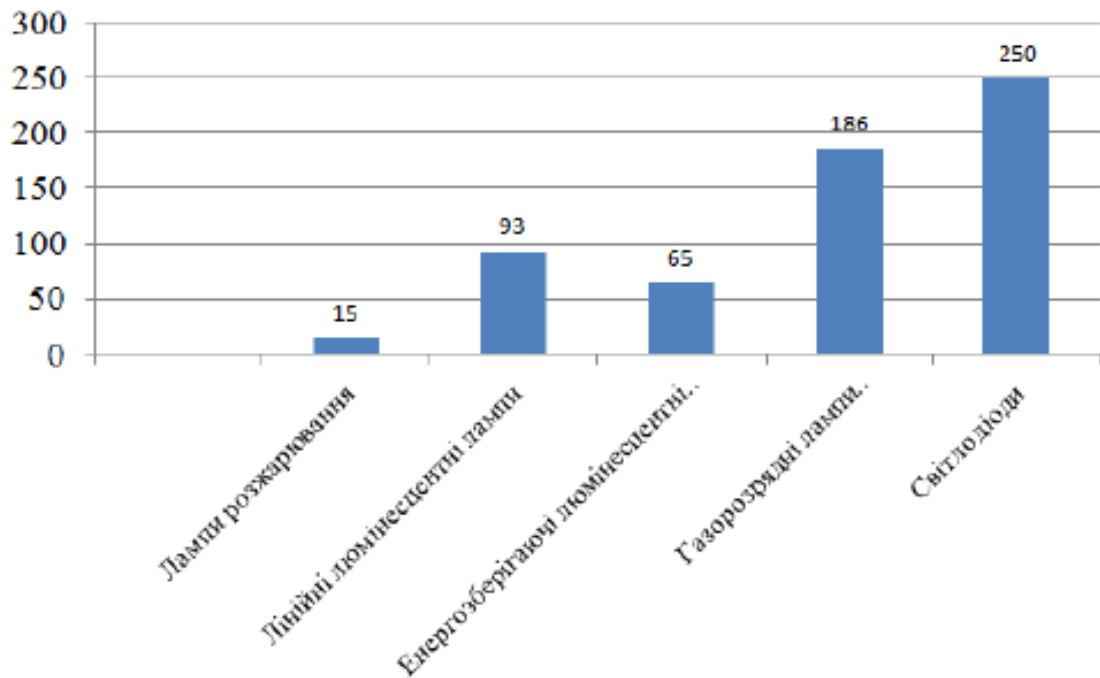


Рис 1.3. Типові значення рівнів світловіддачі різних джерел світла

Основні недоліки, що притаманні розрядним джерелам світла:

1. Можливість появи пульсацій світлового потоку, які спричиняють стробоскопічний ефект, який спотворює зорове сприйняття.
2. Потреба у пускорегулювальній апаратурі для полегшення запалювання, тривалий час розігріву, залежність працездатності від температури навколишнього середовища.
3. Наявність ртуті у складі, що вимагає спеціальних методів утилізації.

У напівпровідникових джерел світла (світлодіодах) оптичне випромінювання відбувається при пропусканні струму крізь р-п перехід за рахунок рекомбінації електронів і дірок та випромінювання фотонів. Основні переваги світлодіодів:

- висока світловіддача (до 250 лм/Вт);
- срок служби складає від 30 до 100 тис. годин;
- можливість отримання різноманітних спектральних і колірних характеристик без втрат у світлофільтрах;
- безпека, малі розміри;

- відсутність ртуті та витрат на утилізацію;
- високий індекс кольоропередачі (понад 80).

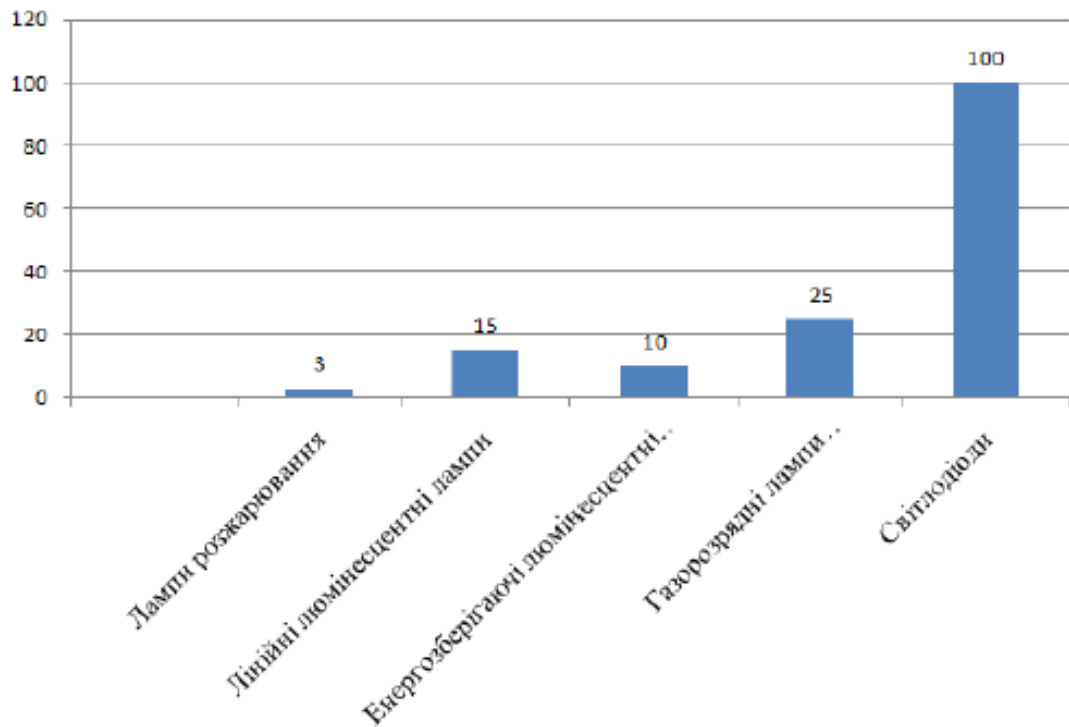


Рис. 1.4. Середні значення терміну служби різних джерел світла

Незважаючи на недоліки, пов'язані з перегріванням та потребою у спеціальних джерелах живлення, що робить світлодіодні джерела дорожчими, їх все ширше застосовують.

Вибір світильників з ефективними кривими сил світла залежить від характеристик приміщень: габаритів, взаємного розташування робочих поверхонь і світильників, висоти їх установа. Світлорозподіл описується класами і типами КСС, характеристики яких наведено на рис. 1.5.

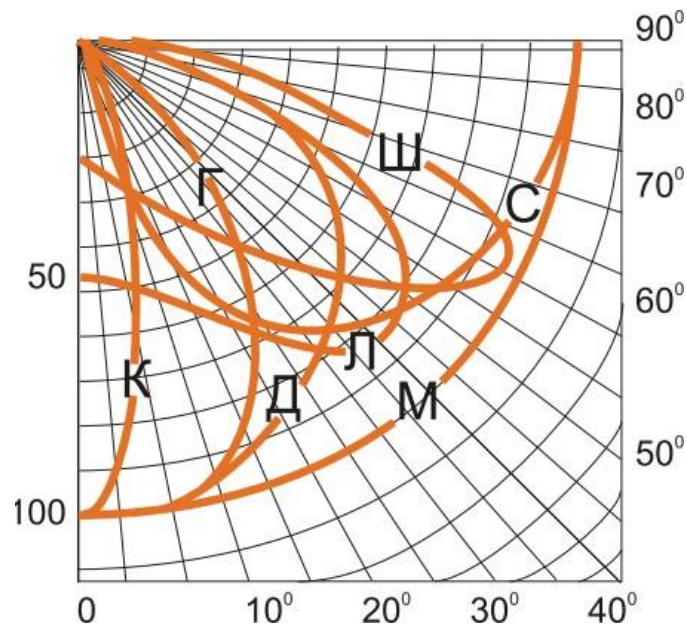


Рис. 1.5. Графіки найбільш поширених кривих сил світла світильників:

К – концентрована КСС; Г – глибока КСС, Д – косинусна КСС, Л – напівширока КСС; Ш – широка КСС; Р – рівномірна КСС; С – синусна КСС.

Для виробничих приміщень, залежно від висоти, рекомендується використовувати КСС типів К, Д, Г, Л, враховуючи, що із збільшенням значення висоти і освітленості робочої поверхні значення кута розсіювання світильника має бути меншим.

Вибір типу КСС для рівномірного освітлення визначається співвідношенням [7, 8]:

$$\lambda = \frac{L}{H} \quad (1.1)$$

де L - це відстань між сусідніми рядами чи окремими світильниками в ряду;

H - висота розміщення освітлювальних установок над робочою поверхнею.

В табл. 1.1 наведено рекомендовані та максимальні значення λ для забезпечення рівномірності освітлення світильниками з різними кривими сили світла [8,9].

Таблиця 1.1 Значення λ для світильників з різними КСС

№ з/п	Тип КСС	λ	
		Рекоменд.	Максимальне
1	К	0,4...0,7	0,90
2	Г	0,8...1,2	1,40
3	Д	1,2...2,6	2,10
4	М	1,8...2,6	3,40
5	Л	1,4... 2,0	2,30

Окрім того при заміні світлових приладів з кривою типу Д на світильники з іншими КСС можливо досягнути економії електроенергії в межах 14...40 % (табл. 1.2).

Табл. 1.2. Можливості економії електроенергії при заміні світильників з КСС типу Д на інші

№ з/п	Тип КСС	Висота прим., м			
		5	10	15	20
1	К1	18,0	28,0	32,0	34,0
2	К2	-	31,0	34,0	40,0
2	Г2	14,0	22,0	26,0	28,0
3	Г3	15,0	25,0	28,0	32,0

Отже, основними завданнями роботи є підбір та проектування системи освітлення котельні з використанням напівпровідникових світильників, яка б при мінімальній встановленій потужності забезпечувала нормовані значення освітленості на робочих поверхнях.

Висновки до розділу

1. Проведено аналіз основних вимог до систем освітлення котелень.
2. Визначено головні напрямки підвищення рівня енергоефективності освітлювальних установок приміщень котелень. Для забезпечення високої енергоефективності при проектуванні чи реконструкції необхідне застосування енергозберігаючих джерел світла та світильників з ефективними кривими сили світла.
3. В результаті аналізу характеристик, переваг та недоліків різних джерел світла було встановлено, що світлодіодні джерела переважають за світловіддачею, терміном служби, безпечністю та екологічністю. Крім того, при переході на кривих сили світла типу K1, K2, Г2, Г3, потенціал економії електроенергії становить 14-40%, що й зумовило постановку завдання роботи

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРОБКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ

2.1 Огляд методів проведення світлотехнічного розрахунку для промислових об'єктів

При проектуванні освітлювальних систем світлотехнічні розрахунки базуються на двох методах, основні формули для розрахунку освітленості E [8, 9]:

$$E = \frac{\Phi}{S}, \quad (2.1)$$

$$E = \frac{I_{\alpha} \cos \alpha}{l^2}, \quad (2.2)$$

де Φ – значення світлового потоку, що надходить на роб. поверхню;

S – площа приміщення;

I_{α} – сила світла в напрямку розрах. точки;

α – це кут між напрямком сили світла до розрах. точки і нормаллю до розрах. поверхні, яка проходить через розрах. точку (див. рис. 2.1);

l – це відстань від джерела світла до розрах. точки.

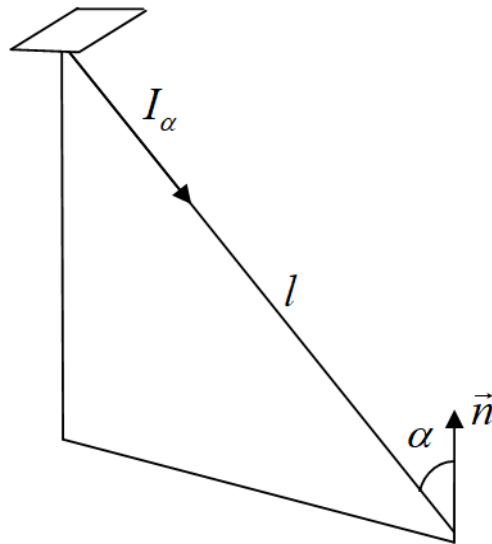


Рис. 2.1. Схема розрахунку освітленості точковим методом

Метод коеф. використання світлового потоку (формула 2.1) застосовується для проведення розрахунку середньої освітленості горизонт. поверхонь з урахуванням відбивних властивостей обмежуючих поверхонь приміщення. Цей метод придатний для систем загального рівномірного освітлення, але без розрахунку максимальних і мінімальних значень та показників рівномірності. Для цього використовується точковий метод (формула 2.2) для обчислення освітленості в конкретній точці поверхні щодо джерел світла. Обмеження - лише пряма складова, а відбита оцінюється наближено. Також потрібно враховувати розміри джерел відносно відстаней до розрахункових точок.

Привіт! Для врахування освітленості на робочих поверхнях застосовуються спеціальні програми, які включають в себе алгоритм розрахунку, оснований на методі випромінюваності.

В програмах для моделювання і розрахунку систем освітлення застосовується алгоритм, що ґрунтується на Radiosity [10]. Основним принципом цього методу є розрахунок світимостей в точках, розташованих на поверхні з ідеальним дифузним відбиттям [3].

$$M(r) = M_0(\vec{r}) + \rho(\vec{r}) \cdot \int_{\Sigma} M(\vec{r}') \cdot V(\vec{r}, \vec{r}') \cdot dF(\vec{r}, \vec{r}'), \quad (2.3)$$

де $M_0(\vec{r})$ – це світимість точки, яка розміщена на поверхні об'єкта розрахунку;

$\rho(\vec{r})$ – коеф. відбивання поверхні;

$V(\vec{r}, \vec{r}')$ – функція, що характеризує видимість елемента $d^2\vec{r}'$ із елемента $d^2\vec{r}$;

$dF(\vec{r}, \vec{r}')$ – коефіцієнт, що дорівнює відношенню падаючого на елемент $d^2\vec{r}$ до значення світлового потоку, який випромінюється елементом поверхні $d^2\vec{r}'$ (див. рис. 2.2):

$$dF(\vec{r}, \vec{r}') = \frac{|(\hat{s}' \cdot \hat{n})(\hat{s} \cdot \hat{n}')|}{\pi |\vec{r} - \vec{r}'|^2} d^2\vec{r}'$$

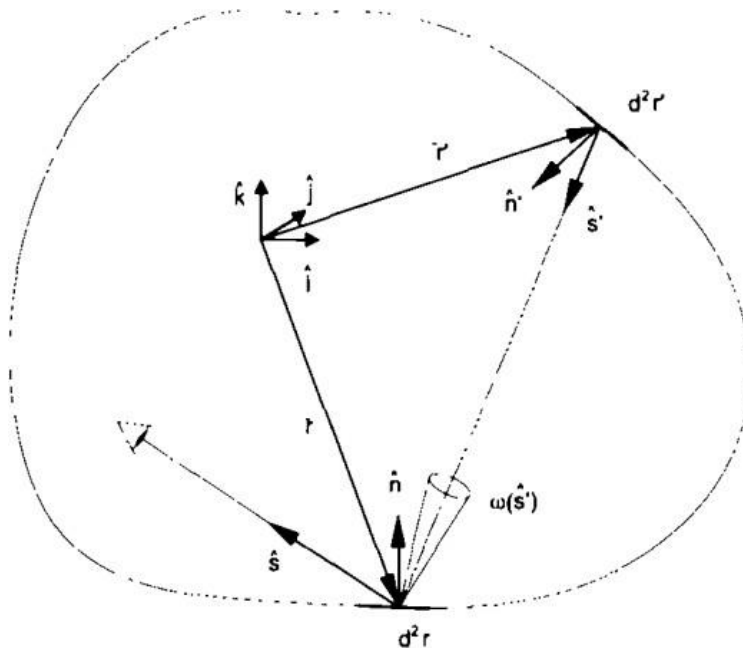


Рис 2.2. Схема для проведення розрахунку світимості

Шляхом переходу від інтеграла до суми і враховуючи, що $M_0 = \text{const}$ та $\rho = \text{const}$ в межах одного елемента поверхні, який отримано в результаті розбиття, рівняння (2.3) набуває вигляду:

$$M_i = M_{0i} + \rho_i \sum_{j=1}^{j=N} M_j \cdot F_{ij}, \quad (2.4)$$

де

$$F_{ij} = \frac{1}{\Delta A_j} \int_{\Delta A_i} \int_{\Delta A_j} \frac{\cos \delta_i \cdot \cos \delta_j}{\pi \cdot r_{ij}^2} \cdot V_{ij} \cdot dA_i \cdot dA_j, \\ r_{ij} = |\dot{r}_i - \dot{r}_j|, \quad (2.5)$$

$$\cos \delta_i = \frac{-\left((\vec{r}_i - \vec{r}_j) \cdot \dot{n}_j\right)}{r_{ij}}, \cos \delta_j = \frac{-\left((\dot{r}_i - r_j) \cdot \dot{n}_j\right)}{r_{ij}}.$$

У наступних обчисленнях для визначення світлового потоку від світлових приладів для загального освітлення котельні ми використовуватимемо метод коефіцієнта використання. Для визначення освітленості в кожній точці та здійснення оцінки розподілу освітлення на робочих поверхнях застосовуватимемо метод випромінюваності, який служить основою для розрахунків у програмах DIALux та DIALux EVO.

2.2. Опис програмного пакету DIALux для здійснення світлотехнічних розрахунків

Програмний комплекс DIALux для проектування та дизайну освітлення розробляється з 1994 року німецьким Інститутом прикладної світлотехніки DIAL GmbH. Програма доступна на всіх актуальних платформах Windows і постійно вдосконалюється кваліфікованою командою розробників. Завантажити поточну версію DIALux та оновлення можна на сайті <http://www.dialux.com>.

Розрахунки в DIALux відзначаються простотою та наочністю. Програма дозволяє детально враховувати при розрахунках не лише пряме світло від джерела, але й відбите та заломлене світло від стін, стелі, меблів тощо з урахуванням відбивних властивостей усіх цих поверхонь.

Окрім безпосереднього обчислення освітленості на різних поверхнях, DIALux надає можливість контролю основних показників якості освітлення: горизонтальна освітленість, насиченість приміщення світлом та рівномірність освітлення.

Серед основних можливостей проектування систем освітлення в DIALux - освітлення інтер'єрів, зовнішнє та вуличне освітлення, аварійне та природне освітлення, сценічне освітлення та енергетичний аудит.

Програма дозволяє розраховувати як внутрішнє, так і зовнішнє освітлення з урахуванням кількості та типу світильників, їх розміщення, геометрії приміщень, кольору і фактури поверхонь та наявних меблів.

Найважливіші результати - графічне зображення розподілу освітленості на робочій поверхні, тривимірна візуалізація освітленого приміщення. Також можливо отримати ізолінії освітленості, таблиці і графіки показників, відомості про світильники та їх технічні характеристики.

Унікальна функція проектування та моделювання сцен освітлення в яких є елементи керування розширює можливості дизайнера. Зокрема, в

DIALux можливе зонування простору в приміщенні, проведення розрахунку і аналізу освітлювальних систем для кожної сцени і загального проекту.

Приділяється увага проектуванню сцен з урахуванням природного освітлення, а також плануванню аварійного освітлення. Ці сцени можуть бути як окремими, так і складовою єдиного проекту.

Важливим нововведенням є можливість енергетичного аналізу. Інформація, введена при плануванні освітлення (геометрія, джерела світла тощо), використовується програмою для автоматичного розрахунку енергоефективності.

Етапи роботи над проектом в DIALux:

1. Створення геометрії приміщення: введення розмірів та форми в різних проекціях.

2. Операції з об'єктами:

- редагування приміщень (геометрія, вирівнювання тощо);
- додавання елементів (коефіцієнти відбиття поверхонь, текстури, кольори, меблі, світильники, розрахункові площини та точки);
- вибір типів світильників та їх розміщення.

3. Визначення сцен освітлення і систем керування:

- моделювання автоматизованих систем;
- формування сцен штучного, природного та аварійного освітлення.

4. Розрахунок внутрішнього освітлення:

- світловий потік, освітленість, потужність;
- нормальна, перпендикулярна та інші види освітленості;
- показники засліплення;
- аналіз сцен освітлення з керуванням;
- розрахунок аварійного та природного освітлення.

5. Візуалізація проекту:

- фотореалістичні зображення
- аналіз ізоліній робочої поверхні

- 3D-модельювання розподілу світла
- розподіл природного освітлення тощо

6. Енергетичний аудит

7. Формування звітної документації та відео

Сучасний дизайн неможливий без грамотного планування освітлення, адже воно впливає на здоров'я, настрій та працездатність людини.

Проектування сцен освітлення передбачає засоби керування для кожної сцени. Методи безпосереднього керування включають дискретне вмикання та вимикання усіх чи частини світильників за командами, а також плавне чи ступінчасте зниження потужності згідно цих сигналів.

Досягти оптимальної роботи освітлення з економією електроенергії можна за допомогою автоматичних систем керування, що виконують такі функції:

- точне підтримання штучної освітленості та кліматичних параметрів на заданому рівні;
- урахування природного освітлення залежно від часу доби та дня тижня;
- урахування присутності людей;
- дистанційне бездротове керування освітленням.

Автоматичні системи з датчиками дозволяють значно заощадити на освітленні. Керування здійснюється за допомогою датчиків освітленості, які регулюють штучне світло залежно від природного. Завдяки оптимальному використанню денного світла економія може сягати 60%. Застосування датчиків руху, таймерів, датчиків вимкнення дає можливість заощадити понад 70%.

Автоматизовані системи бувають трьох рівнів:

1. Система керування окремим світильником або групою.
2. Система керування освітленням в одному чи декількох приміщеннях поруч із світильниками.

3. Централізована комп'ютерна система керування всіма інженерними системами будівлі чи групи будівель.

За допомогою DIALux можна змоделювати роботу систем автоматичного керування освітленням.

DIALux - універсальний засіб для світлотехнічних розрахунків штучного освітлення. Для проектування в ньому передбачено побудову та розрахунок сцен освітлення з урахуванням індивідуальних особливостей приміщення та норм і правил. Завдяки можливостям програми, врахування параметрів та технічних засобів керування дозволяє створити максимально комфортний та енергоефективний проект.

Для формування необхідного візуального середовища в сценах освітлення також застосовують естетичні прийоми: виділення деталей, поєднання штучного і природного світла, стилістична єдність освітлення. Проектування з елементами керування розширює можливості дизайнера.

Для проведення моделювання сцен освітлення в яких наявні елементи керування в DIALux передбачено окремий розділ.

Планування та побудова сцен можливе як у режимі "Планування освітлення", так і в розділі "Внутрішнє освітлення".

За допомогою можливостей DIALux можна створювати різні сцени, залежно від призначення та ролі штучного освітлення.

Основні способи побудови сцен (вибір, вставка та редагування окремих світильників; кругове розміщення; поле світильників; розташування лінійок):

1. Вибір, вставка та налаштування окремих світильників дозволяє створити детальне освітлення заданих зон.
2. Кругове розміщення зручне для створення рівномірного освітлення.
3. Поле світильників дає можливість швидко заповнити велику площу.
4. Розташування лінійок використовується для освітлення приміщень з видовженою формою.

Крім того, шляхом зміни параметрів та властивостей світильників, можна комбінувати різні сценарії освітлення, враховуючи індивідуальні особливості та функціональне призначення приміщення. Поєднуючи джерела світла та їх розташування, можна створити потрібну атмосферу: звичайну, робочу тощо. Шляхом використання елементів керування освітленням, можна досить легко та швидко проводити зміну режиму освітлення залежно від ситуації, підкреслювати певні деталі інтер'єру чи акцентувати увагу на окремих зонах приміщення.

У програмі DIALux також можливе моделювання природного освітлення, враховуючи наявність штучного. Це надає додаткові можливості проектування: розрахунок освітлювальних систем набуває більш реалістичного характеру. Наприклад, можна оптимізувати використання денного світла, аби зменшити енергоспоживання штучних джерел. Або навпаки - додати штучне джерело, якщо природного світла не достатньо.

Тобто є можливість комплексного підходу до освітлення, задля створення оптимальних та ефективних світлових рішень. Це важливо для проектування сучасних будівель та споруд, оскільки дозволяє реалізувати концепцію енергоефективності та сталого розвитку.

Аварійне освітлення є окремим важливим розділом при проектуванні освітлювальних систем. У програмі DIALux можливе детальне моделювання аварійного освітлення як окремої сцени або додатково до звичайних сценаріїв. Це дозволяє перевірити відповідність вимогам безпеки та запобігти аварійним ситуаціям.

Також DIALux надає інструменти для проектування кольорового динамічного освітлення. Можна задати колірне світло або фільтри для груп світильників. Тобто створювати різні сценарії та ефекти. Це дозволяє реалізувати цікаві дизайнерські рішення.

Крім того, програма підтримує управління освітленням - групування світильників, зміна яскравості, автоматичний розрахунок сцен. Це відкриває широкі можливості автоматизації та оптимізації в залежності від потреб.

DIALux це потужний інструмент для комплексного проектування різних типів та режимів освітлення. Від звичайного до аварійного та динамічного кольорового. Це дозволяє створювати якісні та ефективні світлові рішення для будь-яких об'єктів.

При створенні сценаріїв освітлення в DIALux слід дотримуватися певних принципів для коректної роботи:

- світильники можуть групуватися в елементи керування, як окремо так і разом з іншими в установці.
- один світильник може входити в декілька елементів керування.
- сцена може мати один або кілька таких елементів керування світильниками.
- в одній сцені не можуть одночасно бути елементи з тим самим світильником.
- є можливість як повного авторозрахунку сцени, так і інтерактивної зміни параметрів елементів керування.

DIALux дозволяє гнучко налаштовувати групи керованих світильників і комбінувати їх у різних сценаріях. Головне - дотримуватися логічної несуперечливості при групуванні. Це дає широкі можливості для створення оптимальних динамічних рішень освітлення.

алгоритм побудови сцен освітлення в DIALux виглядає наступним чином:

1. Створюємо модель приміщення, задаємо всі необхідні параметри та властивості.
2. Додаємо потрібні світильники з каталогу.
3. Виділяємо світильники, які маємо об'єднати в елемент керування (групу). За потреби увімкнути можливість вибору окремих світильників.

4. За допомогою відповідних інструментів (контекстне меню, команди меню) додаємо виділені світильники до нового чи існуючого елемента керування.

5. Створений елемент керування зі списком присвоєних йому світильників відображається в менеджері проекту. Можна задати назву на вкладці властивостей.

6. При видаленні світильників з проекту вони одночасно видаляються з відповідного елемента керування.

7. За допомогою меню або контекстного меню створюємо сцену освітлення.

8. Додаємо потрібні елементи керування до цієї сцени через контекстне меню в менеджері проекту.

9. На вкладках сцени та елементів керування задаємо необхідні параметри - назву сцени, значення затемнення світильників тощо.

Зучний інтерфейс дозволяє гнучко налаштовувати динамічні сценарії освітлення з управлінням групами світильників.

Щодо перегляду та аналізу результатів моделювання в DIALux можна виділити такі моменти:

- деякі дані (список світильників, координати тощо) доступні для перегляду на будь-якому етапі, до і після розрахунків.
- більшість результатів (освітленість, яскравість тощо) стають доступними тільки після проведення розрахунків сцен освітлення.
- при спробі відкрити такі дані до розрахунку, програма запропонує запустити обчислення.
- подвійне клікання на потрібній сторінці результатів у менеджері проекту відображає ці дані графічно у вікні моделі.
- можливий також експорт числових даних у таблиці та звіти для подальшого аналізу.

Таким чином, DIALux надає зручні інструменти для візуального та цифрового аналізу результатів моделювання різних сценаріїв освітлення. Це дозволяє приймати обґрунтовані проектні рішення.

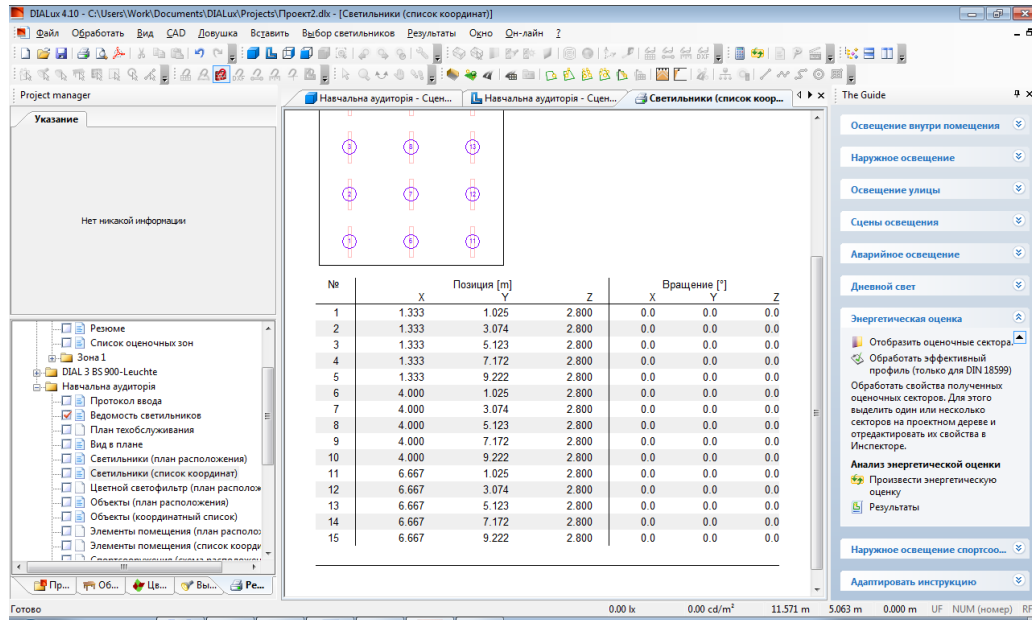


Рис. 2.3. Результати розрахунку системи освітлення

Узагальнимо можливості перегляду та друку результатів у DIALux:

- перегляд на екрані дозволяє бачити великі таблиці цілком, пролистуючи за допомогою середньої кнопки миші чи полос прокрутки.
 - такий режим зручний для експертного аналізу даних без обмежень сторінки.
 - реалізовано WYSIWYG попередній перегляд друку - те що бачимо на екрані, буде надруковане.
 - у попередній перегляд та друк потрапляють лише позначені галочкою результати.
 - перехід до перегляду через меню Файл - Попередній перегляд.
- Отже, є гнучкі засоби як для екранного аналізу результатів, так і для підготовки звітних друкованих матеріалів у DIALux.

В DIALux також наявна можливість експортувати результати розрахунків в PDF-файл.

Оцінка енергоефективності в програмі DIALux є вкрай важливою для створення оптимального освітлення як всередині будівель, так і зовні. Адже споживання електроенергії на потреби освітлення невинно зростає, стаючи одним з ключових факторів впливу людства на довкілля. Європейські країни визначили для себе мету підвищення ефективності використання енергії та зменшення викидів вуглекислого газу, що є вагомим кроком для пом'якшення наслідків змін клімату.

Слід пам'ятати, що виробництво електроенергії тісно пов'язане зі споживанням природних ресурсів та часто супроводжується екологічними проблемами. Тож підвищення ефективності освітлення допомагає комплексно знизити втрати. Адже споживачеві важлива не лише економія електроенергії, а й терміни окупності системи. Отже, ефективність освітлення визначається вартістю виробленої за строк служби електроенергії та витратами на її оплату.

Існують різні шляхи оптимізації освітлення - від використання енергоефективних ламп та автоматизованого керування до розумного проектування та розташування світильників. Програма DIALux дозволяє моделювати освітлення та підібрати оптимальне рішення для конкретного приміщення чи території, враховуючи всі фактори - від кольору стін до режимів роботи. Застосування отриманих рекомендацій на практиці суттєво скорочує витрати та сприяє сталому розвитку.

Відомо, що витрати на модернізацію систем освітлення швидко окуповуються завдяки підвищенню ефективності природного освітлення. Адже воно позитивно впливає на продуктивність праці, знижує втомлюваність, підвищує безпеку на дорогах тощо. Також варто відзначити естетичну роль освітлення в архітектурі та містобудуванні.

Статистика свідчить, що в Україні витрати електроенергії на освітлення є одними з найвищих у світі. Це демонструє значний потенціал для оптимізації. При цьому, на жаль, технічний стан як внутрішнього, так і зовнішнього освітлення загалом не відповідає сучасним вимогам.

Саме тому такі програми, як DIALux, є надзвичайно корисним інструментом для проектування енергоефективних систем освітлення, що дозволить істотно скоротити споживання електроенергії в цій сфері. Комплексний підхід до модернізації освітлення сприятиме сталому розвитку України.

Шучне освітлення стає все більш потужним носієм інформації та важливим елементом сучасного медіа-простору. Інформаційно-світлові технології впливають на формування архітектурного середовища, і цей вплив лише посилюватиметься. Тому вони мають враховуватися при розробці містобудівних та промислових проектів.

Порівнюючи варіанти освітлення, варто пам'ятати, що найбільші витрати становить електроенергія, спожита системою. Друга за обсягом стаття - заміна ламп.

Програма DIALux дозволяє комплексно підійти до проектування освітлення відповідно до європейських стандартів. Вона має функцію енергетичної оцінки, доступну в меню "Провідник". Там можна налаштувати всі параметри для проведення такої оцінки.

Отже, DIALux є потужним інструментом для створення енергоефективних та інформативних систем освітлення, що відповідають сучасним тенденціям розвитку медіа-простору та архітектури.

Приклад результатів проведення енергетичної оцінки проекту згідно показано на рис. 2.4.

Энергетическая оценка / Резюме

Энергетическая оценка согл. следующему стандарту: EN 15193
Местность: Kiev, Географическая долгота: 30.50°, Географическая широта: 50.40°

Результаты

Полная энергия Освещение: 1349.97 kWh/a
LENI: 16.47 kWh/(a · m²)

Полная энергия Зрительное задание: 1349.97 kWh/a
Полная энергия Паразитн. (Всего): 0.00 kWh/a
Полная энергия Паразитн. (Резервный режим): 0.00 kWh/a
Полная энергия Паразитн. (Загрузка аварийного освещения): 0.00 kWh/a
Общая площадь: 81.97 m²

Месячные итоги

Месяц	Освещение		Зрительное задание		Паразитн.	
	[kWh]	[kWh/m²]	[kWh]	[kWh/m²]	[kWh]	[kWh/m²]
Янв	116.72	1.42	116.72	1.42	0.00	0.00
Февр	114.78	1.40	114.78	1.40	0.00	0.00
Мрт	112.42	1.37	112.42	1.37	0.00	0.00
Апр	110.14	1.34	110.14	1.34	0.00	0.00
Май	109.29	1.33	109.29	1.33	0.00	0.00
Июн	108.79	1.33	108.79	1.33	0.00	0.00
Июл	108.87	1.33	108.87	1.33	0.00	0.00
Авг	109.55	1.34	109.55	1.34	0.00	0.00
Сен	111.57	1.36	111.57	1.36	0.00	0.00
Окт	113.94	1.39	113.94	1.39	0.00	0.00
Ноя	116.47	1.42	116.47	1.42	0.00	0.00
Дек	117.57	1.43	117.57	1.43	0.00	0.00

Список затронутых зон:

- Зона 1

Рис. 2.4. Енергетична оцінка проекту освітлення в пакеті DIALux

2.3. Визначення кількості освітлювальних приладів в системі освітлення котельні

Одним з завдань проведення світлотехнічного розрахунку, заснованого на методі коефіцієнта використання, виступає визначення потужності освітлювальних приладів, залежно від їх кількості, їх нормованого рівня освітленості, коеф. запасу та коеф. мінімальної освітленості. Значення кількості встановлюваних в приміщенні освітлювальних приладів визначається на підставі даних, представлених у табл. 1.2, за якими побудовано діаграми відношення значень λ до типу кривих сили світла освітлювальних приладів (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Діаграми, що показують залежність λ від КСС

Відомо, що визначення типу кривої сили світла залежить від коефіцієнта форми та кута випромінювання. На зображенні 2.6 наведені графіки залежностей сили світла від кута випромінювання для різних типів світлових приладів (М, Д, Л, Г, К), побудовані на основі таблиць кривих сил світла з джерел [9, 11].

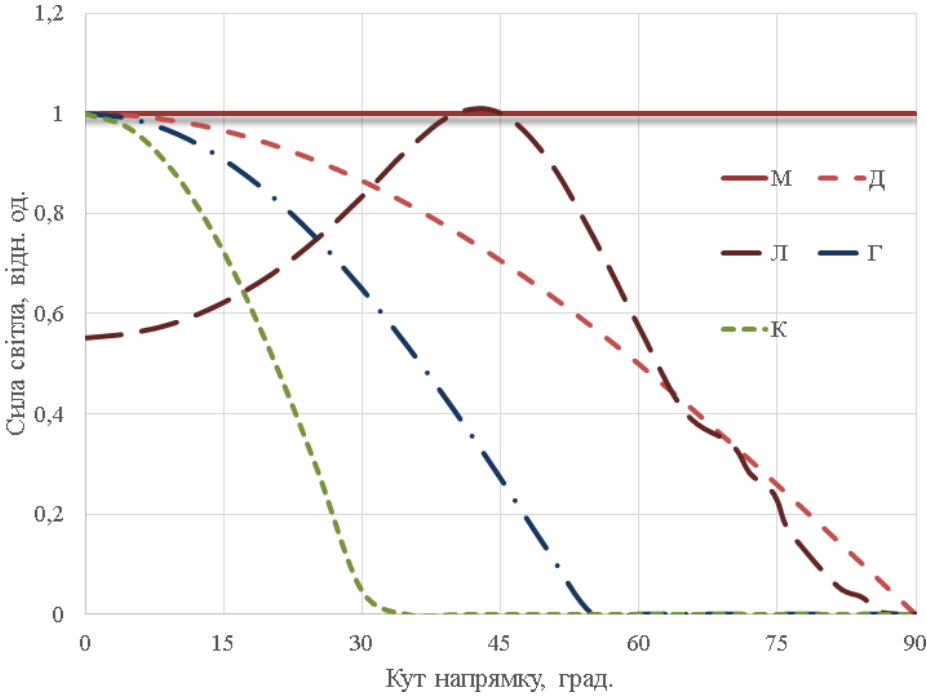


Рис. 2.6. Залежності величин сили світла від значення кута її напрямку

Для даних КСС було проведено розрахунок коефіцієнтів форми згідно формули:

$$K_{\Phi} = \frac{I_{\max}}{\frac{1}{9} \sum_{\alpha=5}^{\alpha=85} I(\alpha)}, \quad (2.6)$$

де $I_{\max}$ – це найбільше значення сили світла.

В табл. 2.4 наведені результати розрахунків коефіцієнтів форми типових КСС.

Таблиця 2.4. Результати розрахунків коефіцієнтів форми типових КСС

Тип КСС	М	Г	Л	Д	К
K_{Φ}	1,00	2,61	1,71	1,57	4,52

Проведення порівняльного аналізу між значеннями коефіцієнтів форми, типами кривих сил світла та мінімальними та максимальними рекомендованими значеннями λ дозволяє отримати графічну залежність відстані між світловими приладами чи їх рядами від значення коефіцієнта форми КСС. Це забезпечує необхідну рівномірність розподілу освітленості на робочій поверхні у горизонтальному напрямку, як показано на рисунку 2.7, із подальшим висвітленням цього аспекту в [12].

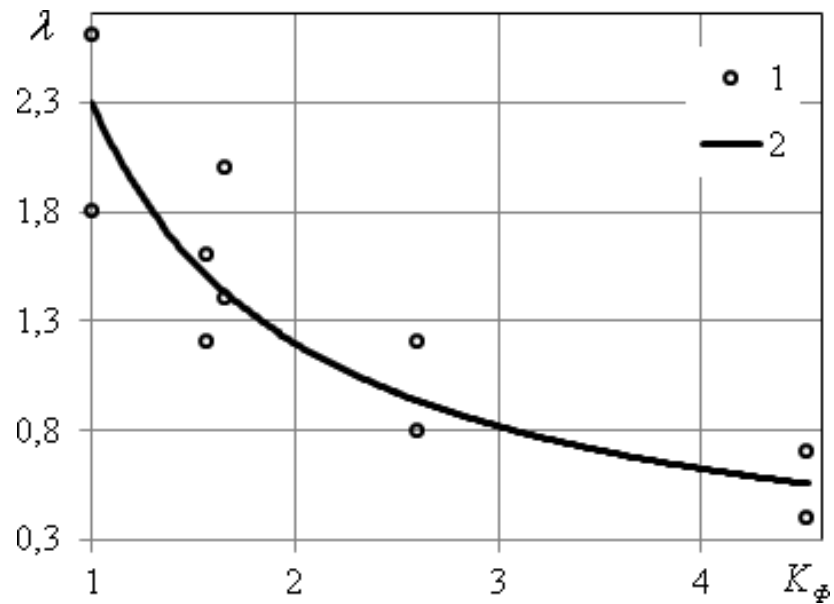


Рис. 2.7. Графіки $l = f(K_{\phi})$:

1 – графік по табличним значенням;

$$2 - l = 2,297K_{\phi}^{-0,93}$$

Цю залежність було аналітично виражено шляхом апроксимації за допомогою методу найменших квадратів, застосованого до степеневій функції. Відповідне рівняння має наступний вигляд:

$$\lambda = 2,297 \cdot K_{\phi}^{-0,93}, \quad (2.7)$$

Знайдемо коефіцієнт детермінації для цього рівняння згідно формули [13]:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{j=n} (\lambda_{Ti} - \lambda_i)^2}{\sum_{j=1}^{j=n} \left(\lambda_{Ti} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n} \lambda_{Ti} \right)^2}, \quad (2.8)$$

$$\sum_{j=1}^{j=n} (\lambda_{Ti} - \lambda_i)^2, \quad \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n} \lambda_{Ti}, \quad \text{та} \quad \sum_{j=1}^{j=n} \left(\lambda_{Ti} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n} \lambda_{Ti} \right)^2$$

В табл. 2.5. показані результати розрахунку

Таблиця 2.5. Результати розрахунку.

$K_{\Phi i}$	λ_{Ti}	λ_i	$(\lambda_{Ti} - \lambda_i)^2$	$\left(\lambda_{Ti} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n} \lambda_{Ti} \right)^2$
1,0	1,80	2,30	0,250	0,180
1,0	2,60	2,30	0,090	1,510
1,6	1,20	1,50	0,100	0,030
1,6	1,60	1,50	0,010	0,050
1,7	1,40	1,40	0,000	0,000
1,7	2,00	1,40	0,320	0,400
2,6	0,80	0,90	0,020	0,320
2,6	1,20	0,90	0,070	0,030
4,5	0,40	0,60	0,030	0,940
4,5	0,70	0,60	0,020	0,450
$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n} \lambda_{Ti}$	1,4			
$\sum_{j=1}^{j=n} (\lambda_{Ti} - \lambda_i)^2$			0,890	
$\sum_{j=1}^{j=n} \left(\lambda_{Ti} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n} \lambda_{Ti} \right)^2$				3,920

Підставивши результати, з табл. 2.5 у вираз (2.8):

$$R^2 = 1 - \frac{0,89}{3,92} = 0,773.$$

Для освітлення котельні обрано світильники типу ДСП65В, існує три модифікації цих світильників, кожна з яких характеризується власними КСС типу Л, Г та К. Графіки розподілу цих кривих представлені на рисунку 2.6.

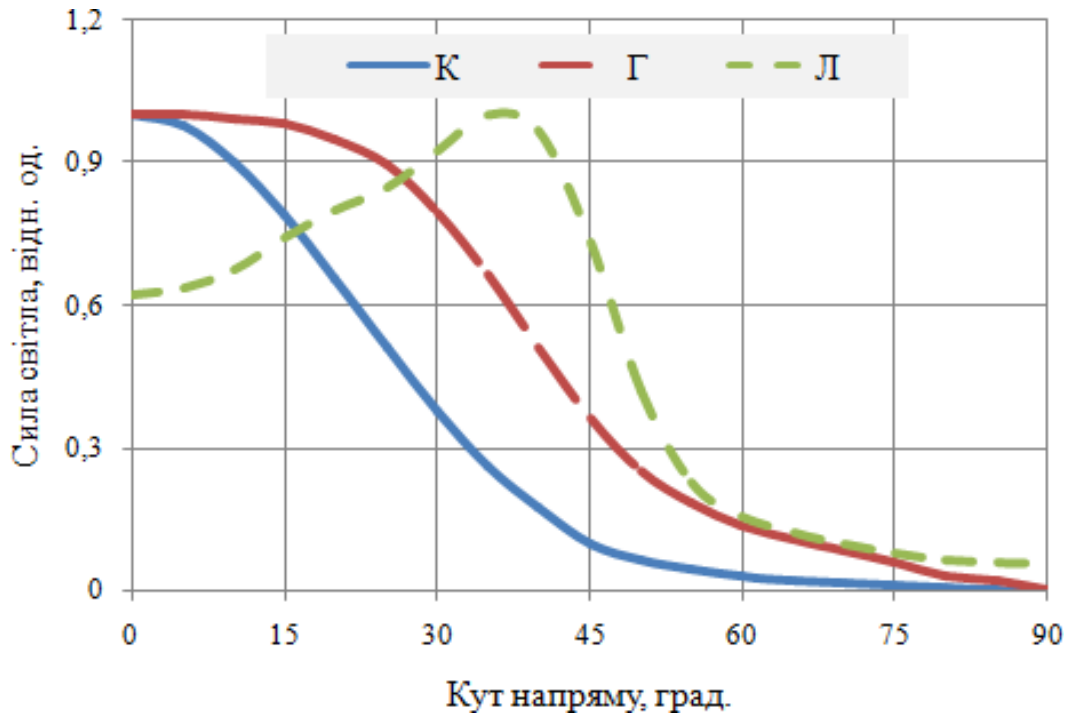


Рис.2.8. КСС світильників ДСП65В

Для даних КСС коефіцієнти форми K_{Φ} , які розраховані згідно формули (2.6):

- для КСС типу К – 3,310;
- для КСС типу Г – 2,110;
- для КСС типу Л – 2,030.

Розрахуємо значення λ підставивши значення K_{Φ} в формулу (2.7):

- для КСС типу К:

$$\lambda = 2,297 \cdot 3,31^{-0,93} = 0,76;$$

- для КСС типу Г:

$$\lambda = 2,297 \cdot 2,11^{-0,93} = 1,14;$$

- для КСС типу Л:

$$\lambda = 2,297 \cdot 2,03^{-0,93} = 1,19.$$

Враховуючи те, що висота встановлення освітлювальних приладів над робочою поверхнею складає 13 м, значення відстані між світильниками чи їх рядами набувають значень:

- для КСС типу К:

$$L = 0,76 \cdot 13 = 9,9 \text{ м};$$

- для КСС типу Г:

$$L = 1,14 \cdot 13 = 14,8 \text{ м};$$

- для КСС типу Л:

$$L = 1,19 \cdot 13 = 15,5 \text{ м}.$$

Враховуючи те, що розміри окремих частин приміщення котельні складаюся $L_{A1} = 18 \text{ м}, L_{B1} = 12 \text{ м}, L_{A2} = 18 \text{ м}, L_{B2} = 6 \text{ м},$ кількість освітлювальних установок при заокругленні отриманого значення до найближчого більшого цілого значення становить:

- для КСС типу К:

$$N_{A1} = \frac{18,0}{9,9} = 1,8 \rightarrow 2; N_{B1} = \frac{12,0}{9,9} = 1,2 \rightarrow 2; N_1 = 4;$$

$$N_{A2} = \frac{18,0}{9,9} = 1,8 \rightarrow 2; N_{B1} = \frac{6,0}{9,9} = 0,6 \rightarrow 1; N_2 = 2;$$

- для КСС типу Г:

$$N_{A1} = \frac{18,0}{14,8} = 1,2 \rightarrow 2; N_{B1} = \frac{12,0}{14,8} = 0,8 \rightarrow 1; N_1 = 2;$$

$$N_{A2} = \frac{18,0}{14,8} = 1,2 \rightarrow 2; N_{B1} = \frac{6,0}{14,8} = 0,4 \rightarrow 1; N_2 = 2;$$

- для КСС типу Л:

$$N_{A1} = \frac{18,0}{15,5} = 1,2 \rightarrow 2; N_{B1} = \frac{12,0}{15,5} = 0,8 \rightarrow 1; N_1 = 2;$$

$$N_{A2} = \frac{18,0}{15,5} = 1,2 \rightarrow 2; N_{B1} = \frac{6,0}{15,5} = 0,4 \rightarrow 1; N_2 = 2.$$

2.4 Розрахунок коефіцієнта використання світлового потоку

На рис. 2.7 наведено графіки залежності використання світлового потоку від індексу приміщень при застосуванні світильників із КСС типів К, Г та Л. Коеф. відбиття стелі, стін і підлоги приймаються рівними 0,70, 0,50 і 0,30 відповідно.

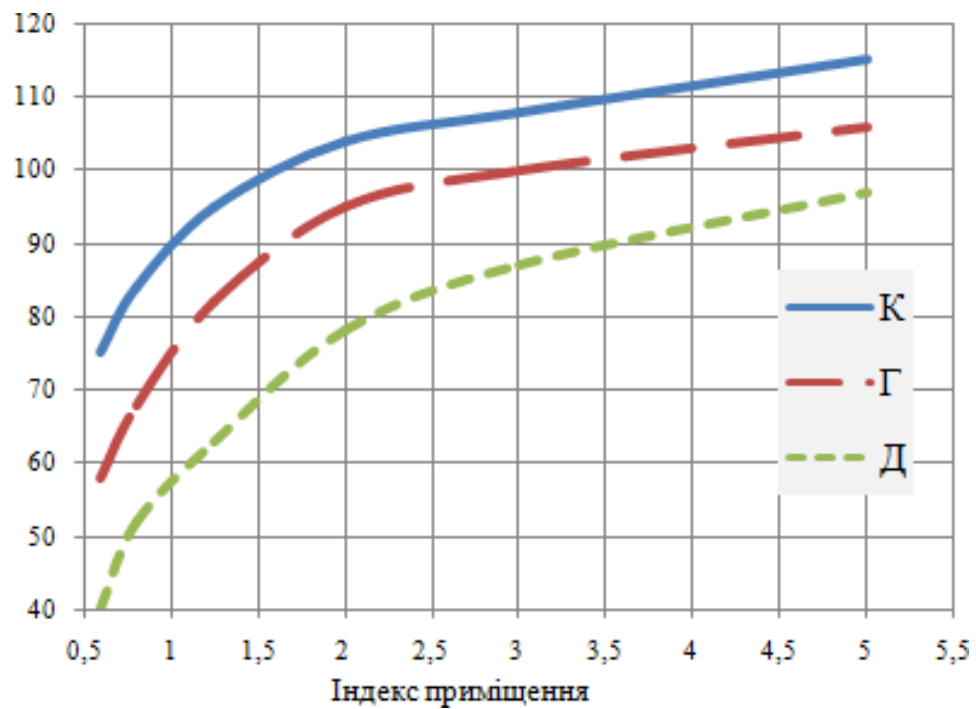


Рис. 2.9. Графік залежності коефіцієнта використання світлового потоку від індексу приміщення

Значення індексів частин 1 і 2 котельні складають 0,55 і 0,31 відповідно. Як показано на рис. 2.7, значення знаходяться за межами заданого діапазону. Отже, для знаходження значень коефіцієнтів використання світлового потоку застосуємо метод екстраполяції кубічними сплайнами (команда MATLAB – «interp1»)

Здійснимо екстраполяцію на інтервалі значень i_l від 0,10...0,59 з кроком 0,01.

Криві залежностей коефіцієнта використання світлового потоку від індексу приміщень для світильників з КСС типів К, Г і Л, що отримані розрахунковим шляхом, наведені на рис. 2.10.

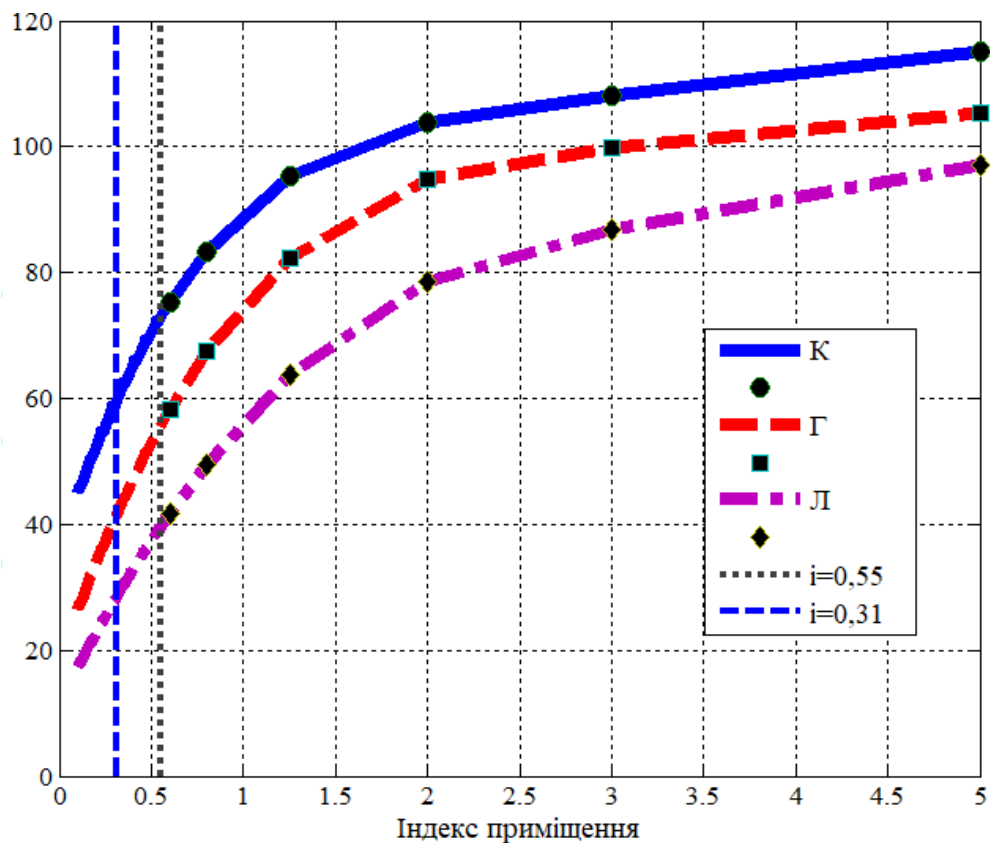


Рис. 2.10. Графіки залежності коефіцієнта використання світлового потоку від індексу приміщень для світильників з КСС типів К, Г і Л, отримані розрахунковим шляхом

По отриманих розрахунковим шляхом кривих визначаємо значення коефіцієнтів використання світлового потоку що відповідають значенням індексів приміщень $i = 0,55$ та $i = 0,31$. (табл. 2.6)

Таблиця 2.6. Результати розрахунку коефіцієнтів використання світлового потоку

№ з/п	Значення індексів приміщення	Тип КСС		
		К	Г	Л
1	$i = 0,55$	73,10	55,90	39,70
2	$i = 0,31$	59,50	41,40	28,30

2.5 Комп'ютерне моделювання і розрахунок системи освітлення котельні

Для аналізу розподілу освітленості на підлозі в DIALux здійснено світлотехнічний розрахунок.

Вихідні дані:

- коеф. експлуатації - 0,59;
- к-сть світильників: ДСП65В-100 – 2 шт., ДСП65В-80 – 4 шт ;
- висота встановлення світильників- 13,0 м.

В результаті розрахунку встановлено, що установка з 2-х світильників ДСП65В-100-211 та 4-х ДСП65В-80-211 забезпечує:

- середнє значення освітленості - 81 лк;
- мінімальне значення - 42 лк;
- максимальне значення – 111 лк;
- відношення мінімального значення освітленості до середнього значення - 0,522.

На рис. 2.11 та 2.12 показані лінії з однаковим значенням освітленості (ізолюкси) та числові значення освітленості в точках підлоги котельні.

Порівнявши отримані характеристики з нормативними, можна зробити висновок, що дана установка в повній мірі відповідає вимогам.

Проте в котельнях встановлюється устаткування, яке може затіняти робочі поверхні. Також потрібно з'ясувати забезпечення нормованих характеристик на проходах для різних значень висоти.

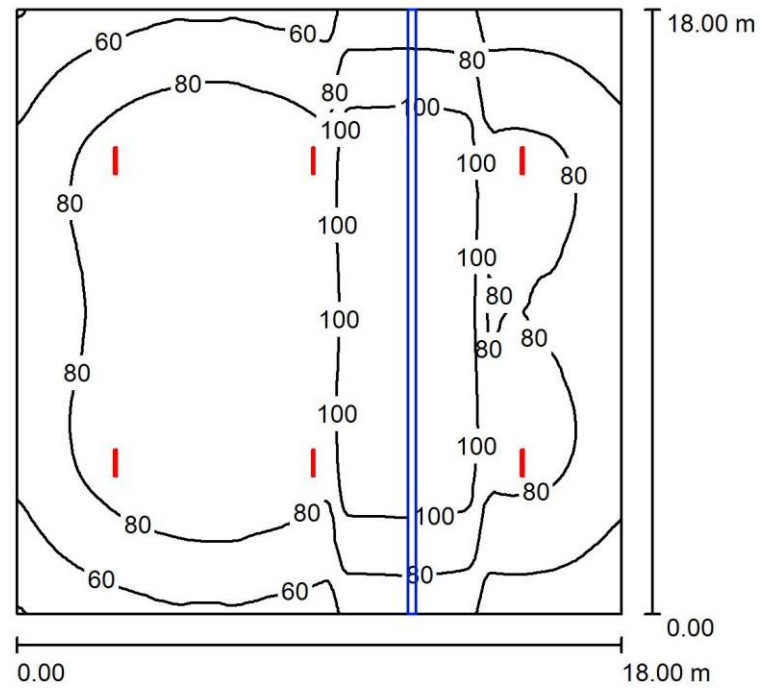


Рис. 2.11. лінії з однаковим значенням освітленості (ізолюкси) підлоги котельні

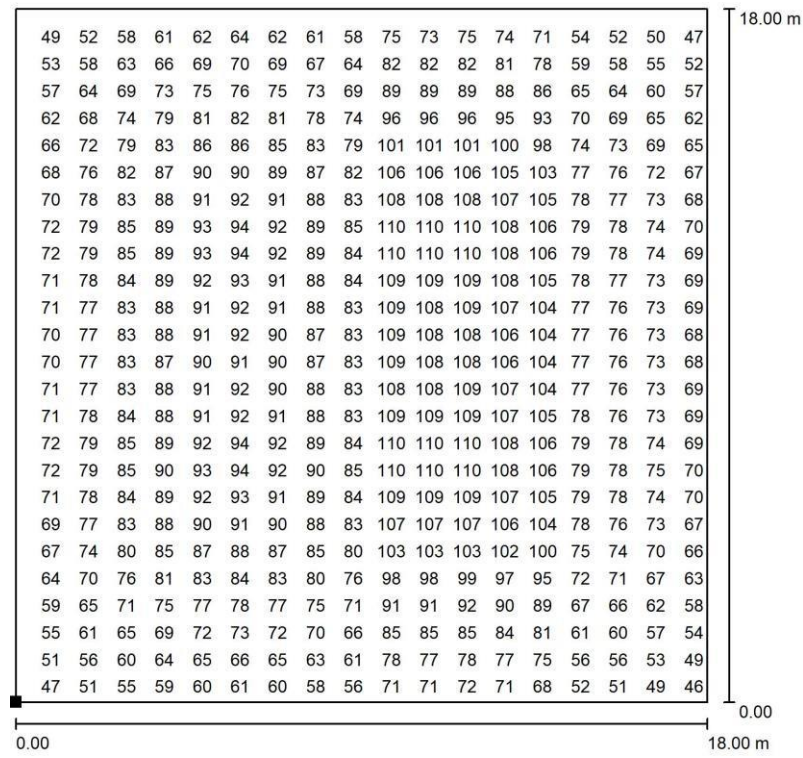


Рис. 2.12. Числові значення освітленості в точках підлоги котельні

Для цього в DIALux EVO створено 3D-модель приміщення з урахуванням обладнання, трубопроводів та проходів (рис. 2.13).

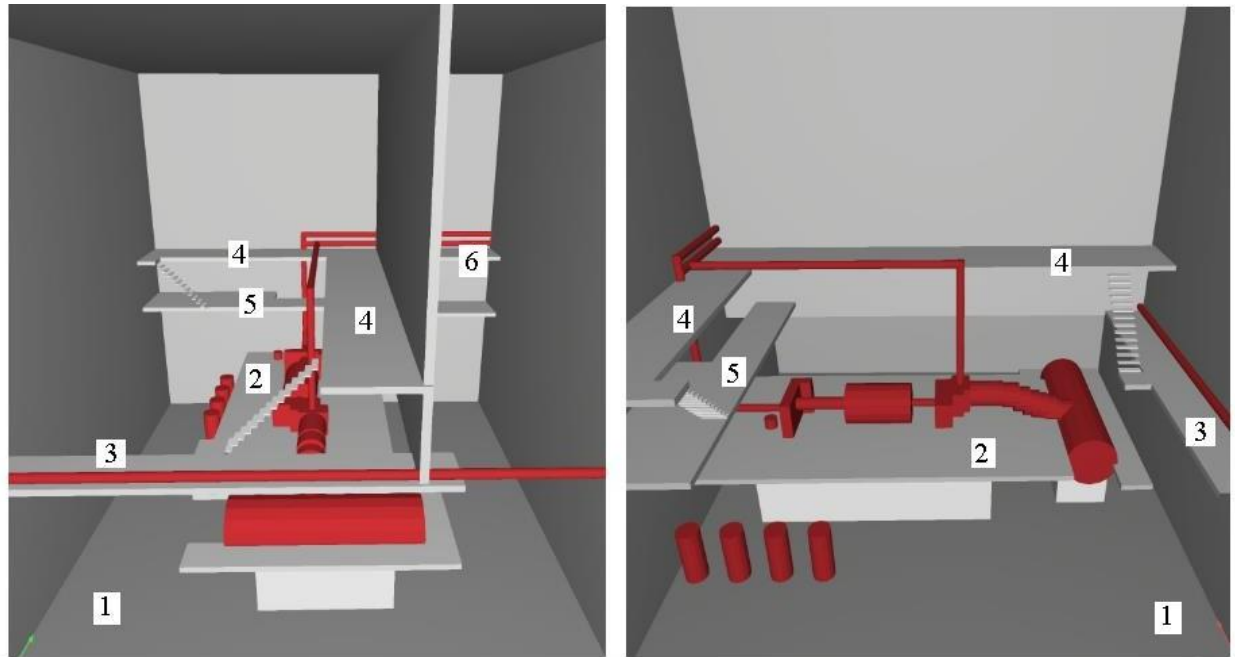


Рис. 2.13. Графічне зображення приміщення котельні в середовищі DIALux із позначенням об'єктів розрахунку

Об'єкти для подальших розрахунків:

- 1 – підлога на позначці 0,0 м;
- 2 - прохід біля устаткування на 3,0 м;
- 3 - прохід на 6,1 м;
- 4 - прохід на 9,0 м, частина 1;
- 5 - прохід на 6,6 м;
- 6 - прохід на 9,0 м, частина 2.

Результати розрахунків об'єктів приміщення котельні в середовищі DIALux наведені в наступному розділі.

Висновки до розділу

1. За результатами аналізу обрано методи розрахунку. Для системи освітлення котельні прийнято метод коеф. використання світлового потоку і метод випромінюваності, який використовується в DIALux.
2. На підставі залежності відношення відстані до висоти від коефіцієнта форми КСС розраховано кількість світильників ДСП65В різних модифікацій для системи освітлення котельні.
3. Шляхом екстраполяції залежностей коефіцієнтів використання світлового потоку від індексів КСС К, Г і М визначено, що для частин котельні з індексами приміщень 0,55 і 0,31 коефіцієнти становлять відповідно 73,10% -39,70% та 59,50 - 28,30%.
4. У DIALux виконано моделювання та розрахунок установки загального освітлення котельні без урахування затінення. Встановлено забезпечення середньої освітленості 81 лк, що відповідає нормам. Для врахування затінення в DIALux EVO створено 3D-модель з обладнанням. Встановлено, що установка з 2-х світильників ДСП65В-100-211 та 4-х ДСП65В-80-211 забезпечує середню освітленість підлоги на рівні 81 лк. Це значення відповідає діючим будівельним нормам. В DIALux EVO створено 3D-модель приміщення з обладнанням для врахування затінення.

РОЗДІЛ 3

ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ ПРИМІЩЕННЯ КОТЕЛЬНОЇ

3.1 Основні характеристики приміщення котельні

Приміщення котельні представляє собою крыту будівлю розмірами 18 м на 8 м з висотою 18 м. Вертикальні перерізи показано на рис. 3.1.

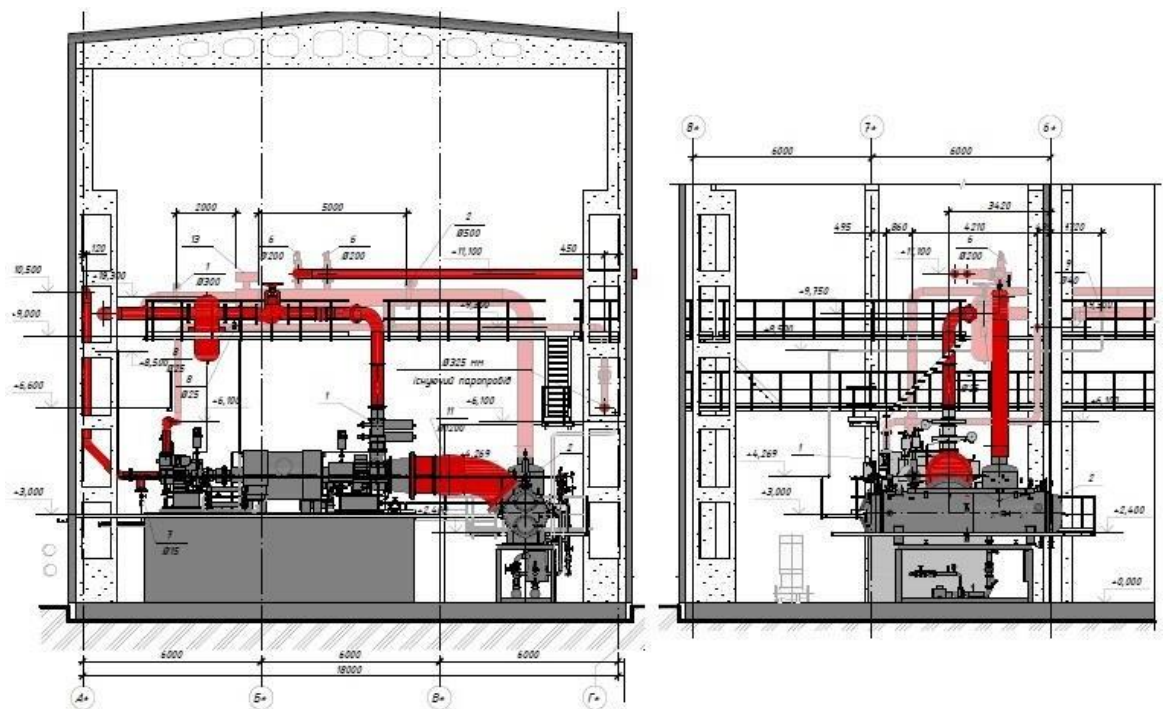


Рис. 3.1. Вертикальні перерізи будівлі котельні

За допомогою перегородки з бетону приміщення котельні поділено на дві частини, розміри яких становлять 18 м на 12 м, і 18 м на 6 м відповідно. Проходи котельні над розміщеним в ній технологічним обладнанням розташовані на висотах 3 м, 6,10 м, 9,0 м і 6,60 м.

3.2 Вибір освітлювальних приладів системи освітлення котельні

Для системи загального освітлення котельні обрано світлодіодні світильники вітчизняного виробника (ТОВ «ОСП Корпорація ВАТРА») ДСП65В (див. рис. 3.2), призначені для освітлення виробничих, комерційних, складських та інших приміщень пожежонебезпечних зон класів П-I і П-II.



Рис. 3.2. Зовнішній вигляд ДСП65В

Окрім цього, застосування цих світильників допускається для вибухонебезпечної зони класу 22. В табл. 3.1 наведені технічні характеристики світильника ДСП65В.

Таблиця 3.1. Характеристики світильника ДСП65В

№ з/п	Назва параметру	Значення
1	Потужність, Вт	25 ... 100
2	Світловіддача, лм/Вт	135
3	Колірна температура, К	4000
4	Ступінь пиловологозахисту	IP65
5	Світловий потік	3375 ... 13500
6	Тип КСС (кут розсіювання, °)	Г (90), Л (120), К (60)
7	Коеф. активної потужності	0,95
8	Клас електрозахисту	I

Для освітлення проходів у котельнях на газоподібному паливі передбачено застосування світильників для вибухонебезпечних зон класу 2 категорії ІА і температурного класу Т1.

Тому обрано світильники ДСП19ВЕх (див. рис. 3.3) з наступними характеристиками:

- потужність 10-35 Вт;
- світловий потік 1250-4100 лм; світловіддача 117-125 лм/Вт;
- КСС М та Д;
- колірна температура 4000 К; коефіцієнт потужності 0,95;
- ступінь захисту IP65; клас електрозахисту І.

Згідно маркування вибухозахисту, ДСП19ВЕх може застосовуватися в середовищі групи ІІВ, що включає підгрупи ІА і ІІВ. Температурний клас Т6 означає, що в процесі роботи температура поверхні не перевищує 80°C, тоді як для Т1 вона становить 450°C.

Як аварійні світлові показники використовуватимемо вибухозахищені світильники ДБП59В2Ех (рис. 3.3, табл. 3.2).



Рис. 3.3. Зображення вибухозахищеного аварійного показника типу ДБП59В2Ех

Таблиця 3.2 – Характеристики показника типу ДБП59В2Ех

№ з/п	Назва параметру	Значення
1	Потужність, Вт	3
2	Світловіддача, лм/Вт	115
3	Колірна температура, К	4000
4	Коеф. активної потужності	0,95
5	Клас електрозахисту	I
6	Світловий потік, лм	345
7	Тип КСС	Д
8	Час роботи в авар. режимі, год	не менше 3
9	Ступінь пиловологозахисту	IP54

3.3 Визначення коефіцієнта запасу

При світлотехнічних розрахунках необхідно враховувати зниження світлового потоку світильників через деградацію світлодіодів та забруднення, внаслідок чого освітленість може стати нижчою за норми.

Для забезпечення нормованих значень освітленості наприкінці терміну служби чи перед черговим чищенням застосовують коефіцієнт запасу - відношення початкового світлового потоку до кінцевого.

В європейській практиці застосовується коефіцієнт експлуатації MF, який є оберненим до коефіцієнта запасу. Згідно [2], коефіцієнт MF обчислюється за виразом:

$$MF = LLMF \cdot LSF \cdot LMF \cdot RSMF, \quad (3.1)$$

де LLMF – це коефіцієнт, що враховує зниження рівня світлового потоку в освітлювальному приладі;

LSF – це коефіцієнт, який враховує частину освітлювальних приладів від їх сумарної кількості, які не припиняють роботу в даних умовах;

LMF – це коефіцієнт експлуатації світильника;

RSMF – коефіцієнт експлуатації поверхонь, які утворюють освітлювальний простір.

Згідно [2] для кількості годин роботи освітлювальних приладів рівній 50000 обираємо $LSF = 1$, $LLMF = 0,85$. Для приміщення котельні необхідним є клас чистоти D, необхідна періодичність чищення освітлювальних приладів складає 2 роки.

Значення коефіцієнта експлуатації поверхонь: $LMF = 0,81$, $RSMF = 0,86$.

Підставивши ці значення у вираз (3.1) отримаємо наступне:

$$MF = 0,85 \cdot 1 \cdot 0,86 \cdot 0,81 = 0,59.$$

Таким чином, значення коефіцієнту запасу для приміщення котельні складає:

$$k = \frac{1}{0,59} = 1,7.$$

3.4 Світлотехнічний розрахунок освітлення котельні методом коефіцієнта використання

Згідно методу коефіцієнта використання, середнє значення освітленості E на робочій поверхні розраховується за наступною формулою:

$$E = \frac{N \Phi U}{S z k}, \quad (3.2)$$

де N – це кількість освітлювальних приладів в розрахунковому приміщенні;

Φ – значення світлового потоку одного освітлювального приладу;

U – величина коефіцієнта використання світлового потоку Φ ;

S – освітлювальна площа розрахункового приміщення;

k – коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт найменшої (мінімальної) освітленості.

Таким чином значення світлового потоку Φ одного освітлювального приладу визначається за формулою:

$$\Phi = \frac{ESzk}{NU}. \quad (3.3)$$

Коеф. використання світлового потоку визначається за формулою::

$$U = \eta_{сп} \cdot \eta_{п}, \quad (3.4)$$

де $\eta_{п}$ – ККД приміщення;

$\eta_{сп}$ – світловий ККД освітлювального приладу.

Оскільки в каталожних даних на світильник ДСП65В зазначено значення світлових потоків самого освітлювального приладу, можна прийняти, що світловий потік U дорівнює світловому потоку лампи $hП$. Тобто приймаємо $U = \eta_{п}$, що відповідає значенням з таблиці 2.6.

Підставивши у формулу (3.3) числові значення для освітленості, площі частин приміщення котельні, коефіцієнтів запасу, найменшої освітленості та коефіцієнта використання, а також врахувавши кількість світильників, розраховану в пункті 2.2, отримуємо розрахункові значення світлових потоків самих світильників.

- для освітлення частин приміщення котельні освітлювальними приладами з КСС типу К:

$$\Phi_1 = \frac{75 \cdot 216 \cdot 1,1 \cdot 1,7}{4 \cdot 0,73} = 10374 \text{ лм,}$$

$$\Phi_2 = \frac{75 \cdot 108 \cdot 1,1 \cdot 1,7}{2 \cdot 0,60} = 12622 \text{ лм;}$$

- для освітлення частин приміщення котельні освітлювальними приладами з КСС типу Г:

$$\Phi_1 = \frac{75 \cdot 216 \cdot 1,1 \cdot 1,7}{2 \cdot 0,56} = 27048 \text{ лм,}$$

$$\Phi_2 = \frac{75 \cdot 108 \cdot 1,1 \cdot 1,7}{2 \cdot 0,41} = 18471 \text{ лм;}$$

- для освітлення частин приміщення котельні освітлювальними приладами з КСС типу Л:

$$\Phi_1 = \frac{75 \cdot 216 \cdot 1,1 \cdot 1,7}{2 \cdot 0,40} = 37868 \text{ лм,}$$

$$\Phi_2 = \frac{75 \cdot 108 \cdot 1,1 \cdot 1,7}{2 \cdot 0,28} = 27048 \text{ лм.}$$

За результатами розрахунку визначимо необхідний світловий потік та потужність світильників ДСП65В на основі даних з каталогу. При підборі будемо дотримуватися умови, щоб різниця між розрахованим та обраним світловими потоками не була більшою за -10...+20%.

Для забезпечення освітлення частини 1 котельні світильниками ДСП65В з КСС типу К оберемо потужність 80 Вт. Світловий потік такого

світильника становить 10800 лм. Це значення відповідає розрахунковому з урахуванням допустимого відхилення:

$$\Delta = \frac{10800 - 10374}{10800} \cdot 100\% = 3,94 \%,$$

Для освітлення частини 2 приміщення котельні виберемо потужність світильника рівною 100 Вт. Світловий потік Φ для вказаної потужності становить 13500 лм. Відхилення від розрахункового значення складає:

$$\Delta = \frac{13500 - 12622}{13500} \cdot 100\% = 6,50 \%.$$

Для освітлення приміщення котельні неможливо підібрати світильники ДСП65В з КСС типу Г та Л через те, що розрахункові значення світлових потоків значно перевищують дані з каталогу для цих типів кривих. Щоб забезпечити нормоване значення освітленості, потрібно збільшити кількість світильників потужністю 100 Вт та значенням світлового потоку рівним 13500 лм.

Кількість освітлювальних приладів визначається за формулою (3.2):

$$N = \frac{ESzk}{\Phi U}. \quad (3.5)$$

В табл. 3.3. наведені Результати розрахунків

Таблиця 3.3. Результати світлотехнічних розрахунків освітлювальних приладів для приміщення котельні

Тип КСС	Частина приміщ.	Тип освітлювального приладу	Світловий потік Φ , лм	К-стьосвітл. приладів	Потужність освітл. приладу, $P_{сп}$, Вт	Потужність освітл. установ-ки, $P_{ос}$, кВт
Л	1	ДСП65В-100-211	13500	6	100	1,000
	2	ДСП65В-100-211	13500	4	100	
К	1	ДСП65В-80-211	10800	4	80	0,520
	2	ДСП65В-100-211	13500	2	100	
Г	1	ДСП65В-100-211	13500	4	100	0,700
	2	ДСП65В-100-211	13500	3	100	

Як видно з результатів розрахунку, що наведені в табл. 3.3 найбільш енергоефективною буде освітлювальна установка з освітлювальними приладами з КСС типу К. В зв'язку з цим прийємо саме цей варіант для подальших розрахунків системи освітлення котельні.

3.5 Світлотехнічний розрахунок системи освітлення котельні з допомогою DIALux

Для світлотехнічного розрахунку в програмі DIALux EVO використовуватимемо тривимірну модель приміщення котельні, описану в пункті 2.4. Вихідні дані для розрахунку аналогічні з даними з п. 2.4.

За допомогою програми було розраховано систему освітлення, що складається з 4-х світильників типу ДСП65В-80 та 2-х світильників типу ДСП65В-100-211. Отримано такі значення середньої освітленості:

1 - 35,6 лкпідлога на позначці 0,00 м - ;

2 - прохід біля котлів на висоті 3,00 м - 43,40 лк;

3 - прохід на висоті 6,10 м - 28,10 лк;

4 - прохід на 9,00 м, частина 1 - 101,00 лк;

5 - прохід на 6,60 м - 42,90 лк;

6 - прохід на 9,0 м, частина 2 - 29,6 лк.

Згідно з результатами розрахунку, нормована величина середньої освітленості 75 лк забезпечується тільки на поверхні проходу на позначці 9,0 м у частині 1 приміщення.

Для інших розрахункових поверхонь рівень освітленості не досягається через їх взаємне затінення. Отже, щоб забезпечити нормовану освітленість на всіх поверхнях, необхідно збільшити кількість та потужність світильників. З цією метою виконано світлотехнічний розрахунок освітлення приміщення котельні для різної кількості й потужності світлових приладів. Результати розрахунку наведено в таблиці 3.4.

Як видно з результатів, нормована величина середньої освітленості 75 лк на всіх розрахункових поверхнях можуть забезпечити варіанти установок 5 і 9, потужності яких становлять 1,2 кВт. Подальше збільшення кількості та потужності світильників недоцільне, оскільки це призведе до засліплення персоналу котельні.

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку систем освітлення приміщення котельні
із використанням світильників ДСП65В

№ вар.	Потужність освітлювальних приладів, $P_{осв}$, Вт	К-сть рядів х К-сть світильн.		Потужність освітл. установки, $P_{уст}$ кВт	Розрах. значення середньої освітленості $E_{сер}$ на поверхнях об'єктів, лк						Відповідність вимогам (так/ні)
		Част. 1	Част. 2		I	II	III	IV	V	VI	
1	80	2x2		0,52	35,60	43,40	28,10	101	42,90	25,60	–
	100		1x2								
2	80	3x2		0,68	44,10	63,70	42,00	159	64,90	25,60	–
	100		1x2								
3	80	2x3		0,72	53,20	63,80	57,60	192	59,40	130,00	–
	80		1x3								
4	80	3x3		0,96	65,50	91,50	87,70	289	89,60	130,00	–
	80		1x3								
5	80	3x4		1,20	75,70	119,00	121,00	390	84,90	130,00	+
	80		1x3								
6	100	2x2		0,60	44,50	54,60	35,20	127	53,70	32,60	–
	100		1x2								
7	100	3x2		0,80	55,10	80,20	52,70	199	81,40	32,60	–
	100		1x2								
8	100	2x3		0,90	66,30	79,60	72,00	240	72,90	164,00	–
	100		1x3								
9	100	3x3		1,20	81,60	114,00	110,00	361	110,00	164,00	+

Для зменшення споживання електроенергії пропонується до варіанту 1 додати світильники, розташовані над розрахунковими поверхнями або поруч з ними. Розміщення додаткових світлових приладів ДСП19Вех показано на 3D-моделі (рис. 3.4).

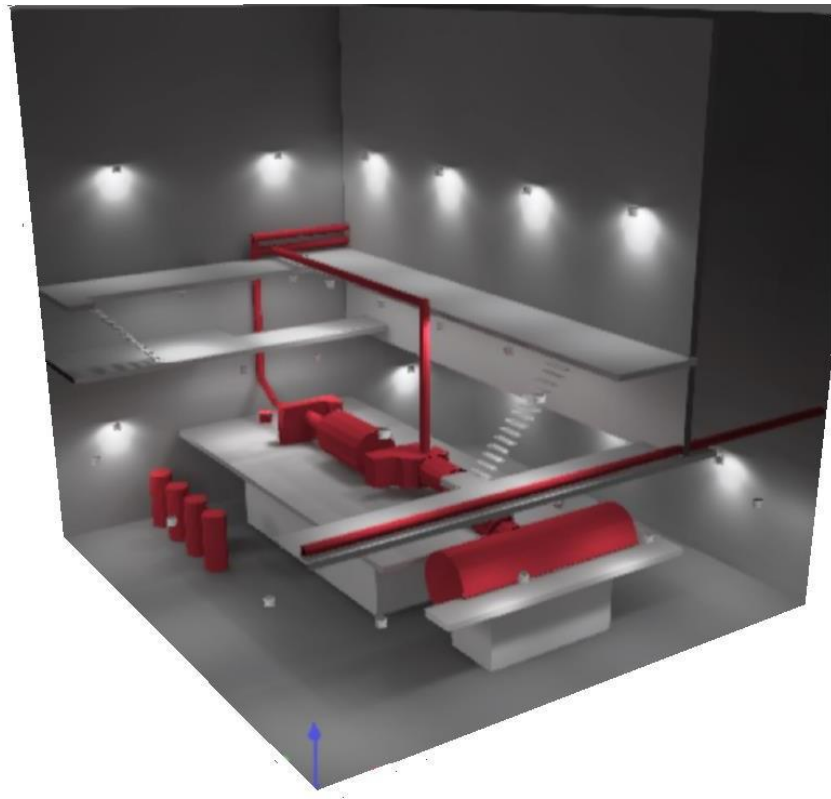


Рис. 3.4. Тривимірна візуалізація розташування додаткових світильників типу ДСП19Вех

Шляхом підбору і проведення повторних розрахунків визначено необхідну кількість та потужність світильників додаткового освітлення для забезпечення нормованої освітленості 75 лк на розрахункових поверхнях.

Потрібно використати:

- 4 світильники ДСП19УЕх-35;
- 4 світильники ДСП19УЕх-12;
- 3 світильники ДСП19УЕх-16;
- 13 світильників ДСП19УЕх-22-001.

У результаті розрахунку системи освітлення, що складається зі світильників ДСП65В та ДСП19УЕх, отримано такі значення освітленості:

- 1 - підлога на 0,00 м - 109,0 лк;
- 2 - прохід біля котлів на 3,00 м - 109,0 лк;
- 3 - прохід на 6,10 м - 107,0 лк;
- 4 - прохід на 9,00 м, частина 1 - 153,0 лк;

5 - прохід на 6,60 м - 126,0 лк;

6 - прохід на 9,00 м, частина 2 - 94,2 лк.

Оскільки розраховані значення освітленості значно перевищують нормовані, замінимо загальні світильники на менш потужні.

В результаті заміни світильників встановленою потужністю 80 Вт на світильники встановленою потужністю 60 Вт після проведення світлотехнічного розрахунку отримано такі значення освітленості:

1 - підлога на 0,00 м - 78,50 лк;

2 - прохід біля котлів на 3,00 м - 75,20 лк;

3 - прохід на 6,10 м - 80,80 лк;

4 - прохід на 9,00 м, частина 1 - 87,10 лк;

5 - прохід на 6,60 м - 88,70 лк;

6 - прохід на 9,00 м, частина 2 - 72,60 лк.

Як бачимо, ця освітлювальна установка повністю задовольняє вимоги норм освітленості. На рис. 3.5 показано візуалізацію розподілу освітленості на розрахункових та інших поверхнях.

3.6 Система освітлення приміщення котельні на основі газорозрядних ламп

З метою порівняння та оцінки енергоефективності світлових приладів на базі напівпровідникових джерел світла, проведемо розрахунок потужності освітлювальної системи з газорозрядними лампами. Виберемо найбільш подібні за світловою віддачею і колірною температурою газорозрядні лампи ДРЛ і МГЛ. При цьому прагнутимемо, щоб газорозрядна освітлювальна система створювала аналогічне освітлення, як система на базі ДСП65В і ДСП18УЕх.

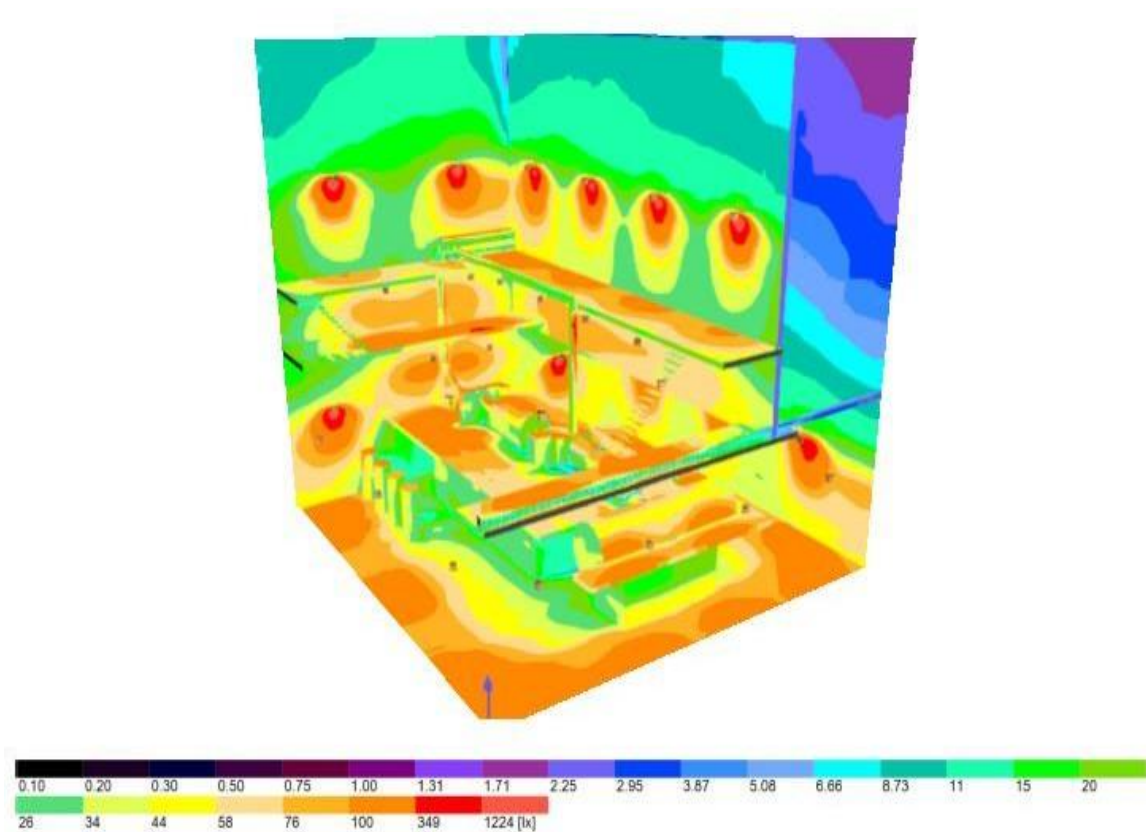


Рис. 3.5. Тривимірна візуалізація розподілу рівня освітленості на поверхнях (робочих та інших) приміщення котельні

Це можливо за таких умов:

1. Світлові прилади з газорозрядними лампами мають бути встановлені в ті ж місця, що й світлодіодні;
2. Світловий потік газорозрядних світильників повинен максимально наближатися до потоку напівпровідникових.

Для загального освітлення оберемо ГСП20, характеристики яких наведено в таблиці.

Щоб визначити потужність джерел світла ГСП20, скористаємось формулою для розрахунку освітленості від ДСП65В і ГСП20, враховуючи однакову кількість світильників, коефіцієнт мінімальної освітленості та площу приміщення для обох варіантів.

$$E = \frac{N \cdot \Phi_{\text{ДСП 65 В}} \cdot U_{\text{ДСП 65 В}}}{S \cdot z \cdot k_{\text{ДСП 65 В}}}, \quad (3.6)$$

$$E = \frac{N \cdot \Phi_{\text{ГСП 20}} \cdot U_{\text{ГСП 20}}}{S \cdot z \cdot k_{\text{ГСП 20}}}. \quad (3.7)$$

Таблиця 3.5. Характеристики світильників типу ГСП20

№ з/п	Параметр	Значення
1	Потужність, Вт	250, 400
2	Тип лампи	ДРЛ, Е40, МГЛ
3	Коеф. активної потужності	0,85
4	Клас електрозахисту	I
5	Коефіцієнт корисної дії, %	70
6	Тип КСС	Г (90), К (60), Д (120)
7	Ступінь пиловологозахисту	IP65



Рис. 3.6 Загальний вигляд світильника

Прирівнявши праві частини виразів (3.6) і (3.7) отримаємо наступні співвідношення:

$$\frac{N \cdot \Phi_{\text{ГСП}20} \cdot U_{\text{ГСП}20}}{S \cdot z \cdot k_{\text{ГСП}20}} = \frac{N \cdot \Phi_{\text{ДСП}65\text{В}} \cdot U_{\text{ДСП}65\text{В}}}{S \cdot z \cdot k_{\text{ДСП}65\text{В}}}, \quad (3.8)$$

$$\frac{\Phi_{\text{ГСП}20} \cdot U_{\text{ГСП}20}}{k_{\text{ГСП}20}} = \frac{\Phi_{\text{ДСП}65\text{В}} \cdot U_{\text{ДСП}65\text{В}}}{k_{\text{ДСП}65\text{В}}}.$$

Коеф. використання для світильника типу ГСП 20 знаходиться за формулою:

$$U = \eta_{\text{ГСП}} \cdot \eta_{\text{П}}, \quad (3.9)$$

де $\eta_{\text{ГСП}20}$ – ККД світильника ГСП20.

Враховуючи однаковий коефіцієнт корисної дії приміщення для обох варіантів через використання світильників з однаковим типом кривої сили світла, а також те, що ККДсвітлодіодного світильника дорівнює 1, підставивши вираз (3.9) у вираз (3.8), отримаємо:

$$\frac{\Phi_{\text{ГСП}20} \cdot \eta_{\text{ГСП}} \cdot \eta_{\text{П}}}{k_{\text{ГСП}20}} = \frac{\Phi_{\text{ДСП}65\text{В}} \cdot \eta_{\text{П}}}{k_{\text{ДСП}65\text{В}}},$$

$$\frac{\Phi_{\text{ГСП}20} \cdot \eta_{\text{ГСП}}}{k_{\text{ГСП}20}} = \frac{\Phi_{\text{ДСП}65\text{В}}}{k_{\text{ДСП}65\text{В}}},$$

звідки

$$\Phi_{\text{ГСП}20} = \frac{\Phi_{\text{ДСП}65\text{В}}}{\eta_{\text{ГСП}}} \frac{k_{\text{ГСП}20}}{k_{\text{ДСП}65\text{В}}} = \frac{\Phi_{\text{ДСП}65\text{В}}}{\eta_{\text{ГСП}}} \frac{MF_{\text{ДСП}65\text{В}}}{MF_{\text{ГСП}20}}. \quad (3.10)$$

Для світильників із газорозрядними лампами МГЛ значення $LLMF = 0,63$, а $LSF = 0,73$, а для світильників із ДРЛ – значення $LLMF = 0,78$, а $LSF = 0,79$. Величина коефіцієнта експлуатації поверхонь і світильника складають $RSMF = 0,86$ та $LMF = 0,81$ відповідно. Підставляючи вказані значення у вираз (3.1), отримаємо величину коефіцієнта запасу для варіанту використання ламп типу МГЛ в світильниках:

$$MF = 0,63 \cdot 0,73 \cdot 0,86 \cdot 0,81 = 0,32,$$

Те ж для варіанту використання ламп ДРЛ в світильниках:

$$MF = 0,78 \cdot 0,79 \cdot 0,86 \cdot 0,81 = 0,43.$$

Підставивши величину коефіцієнта експлуатації у вираз (3.10), отримаємо величини світлових потоків:

- для ламп типу МГЛ:

$$\Phi_{ГСП20В}^{МГЛ} = \frac{5400}{0,7} \cdot \frac{0,59}{0,32} = 14223 \text{ лм},$$

- для ламп типу ДРЛ:

$$\Phi_{ГСП20В}^{ДРЛ} = \frac{5400}{0,7} \cdot \frac{0,59}{0,43} = 10584 \text{ лм}.$$

На підставі розрахованих значень світлового потоку обираємо такі типи ламп:

- МГЛ - HSI-TT 150/, світловий потік складає 14500 лм, встановлена потужність 150 Вт;

- ДРЛ - ДРЛ250, світловий потік складає 13500 лм, встановлена потужність 250 Вт.

Через те, що встановлена потужність ламп типу МГЛ є меншою, для подальших розрахунків зупиняємося на цьому типі.

Потужність ламп світильників, що освітлюють проходи, розраховуються аналогічно. Як світильники для освітлення проходів обираємо вибухозахищені ГСП/РСП18ВEx з коефіцієнтом корисної дії 75%, і значенням коефіцієнту активної потужності рівним 0,9.

Величина світлового потоку аналогів світильників ГСП/РСП18 складає:

- ДСП19УEx-35:

$$\Phi = \frac{4100}{0,75} \cdot \frac{0,59}{0,32} = 10079 \text{ лм,}$$

- ДСП19УEx-22:

$$\Phi = \frac{2840}{0,7} \cdot \frac{0,59}{0,32} = 7480 \text{ лм,}$$

- ДСП19УEx-16:

$$\Phi = \frac{2100}{0,7} \cdot \frac{0,59}{0,43} = 4116 \text{ лм,}$$

- ДСП19УEx-12:

$$\Phi = \frac{1450}{0,7} \cdot \frac{0,59}{0,43} = 2892 \text{ лм.}$$

За отриманими значеннями світлового потоку обираємо тип і величину потужності ламп для випадку світильників-аналогів. В таблиці 3.6 наведені результати цього вибору.

Таблиця 3.6. Результати вибору світильників-аналогів з встановленими газорозрядними лампами

№ з/п	Тип	Аналог	Лампа	Потужність, Вт	Світловий потік, лм
1	ДСП19УЕх-12	ГСП18Вех	ДРЛ80	80	3800
2	ДСП19УЕх-16	ГСП18Вех	ДРЛ80	80	3800
3	ДСП19УЕх-22	РСП18Вех	ДРИ125	125	5300
4	ДСП19УЕх-35	РСП18Вех	HQI-E 150	150	12000

Отже, за результатами світлотехнічного розрахунку для системи освітлення на базі світильників з газорозрядними лампами отримано такі показники освітленості:

- 1 - поверхня підлоги на позначці 0,00 м - 77,40 лк;
- 2 - прохід біля котельного устаткування на позначці 3,00 м - 76,70 лк;
- 3 - поверхня проходу на позначці 6,10 м - 74,00 лк;
- 4 - поверхня проходу на позначці 9,00 м, частина приміщення 1 - 102,00 лк;
- 5 - поверхня проходу на позначці 6,60 м - 73,50 лк;
- 6 - поверхня проходу на позначці 9,00 м, частина приміщення 2 - 74,00 лк.

Розподіл освітленості по поверхнях приміщення зображено на рис. 3.7.

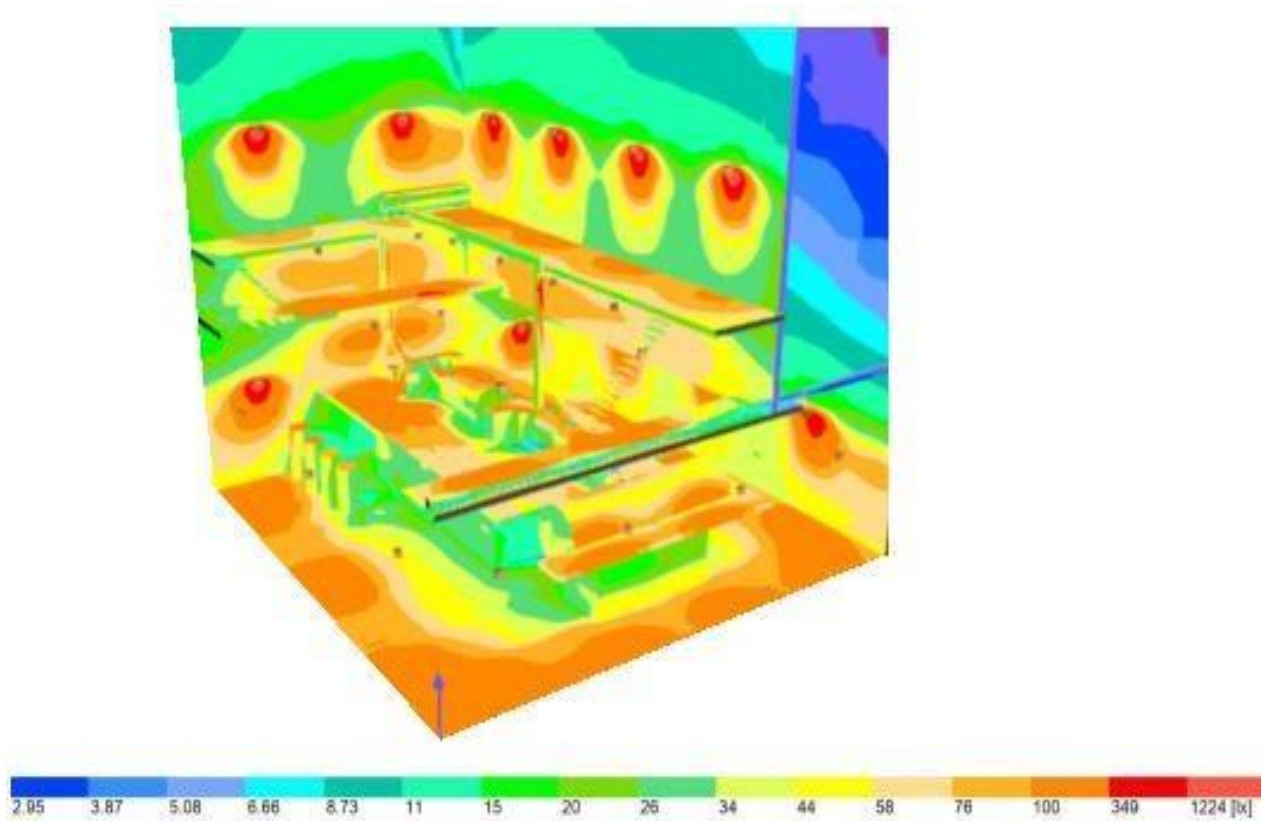


Рис. 3.7. Тривимірна візуалізація розподілу рівня освітленості на поверхнях приміщення котельні, що освітлені світильниками, оснащеними газорозрядними лампами

Як можна побачити з результатів розрахунку, розглянута система освітлення котельні забезпечує виконання нормативних вимог.

3.7 Порівняння варіантів систем освітлення котельні

Для здійснення порівняння варіантів освітлення приміщення котельні, проведемо розрахунок потужностей освітлювальних установок для 3-х випадків:

1. Освітленість робочих поверхонь забезпечена лише світильниками ДСП656В. Потужність такої установки - 1,20 кВт.

2. Освітленість поверхонь створена світильниками з газорозрядними лампами. З урахуванням 10% втрат в пристроях живлення, потужність такої установки становить:

3. Комбінована установка зі світильниками ДСП та ГСП. Її загальна потужність складає:

$$P=1,1 \cdot (6 \cdot 150 + 4 \cdot 150 + 13 \cdot 125 + 7 \cdot 80) = 3,685 \text{ кВт.}$$

Рівень освітленості на робочих поверхнях створюється світильниками типу ДСП65В і ДСП19ВЕХ. Для такого випадку встановлена потужність освітлювальної установки складає:

$$P=6 \cdot 60 + 4 \cdot 35 + 13 \cdot 22 + 3 \cdot 16 + 4 \cdot 12 = 0,882 \text{ кВт.}$$

Отже, за результатами розрахунків видно, що використання світлодіодних світильників значно зменшує потужність освітлювальної установки. Навіть при застосуванні лише освітлювальних приладів для загального освітлення, потужність є на 2,48 кВт нижчою порівняно з газорозрядними лампами. Використання в системі освітлення світильників ДСП65В та ДСП19Вех дає змогу знизити потужність до 0,882 кВт, що складає 26,5% відносно системи лише з ДСП65В.

3.8 Проектування аварійного освітлення приміщення котельні

Передбачимо аварійне освітлення котельні за допомогою світильників ДСП65В, що застосовується в системі робочого освітлення. Через те, що аварійне освітлення котелень належить до першої категорії за надійністю електропостачання, живлення світильників здійснюватиметься від окремого джерела. Також використаємо світильники з вбудованими акумуляторами.

За результатами розрахунку отримано:

Випадок 1. Освітлення лише світильниками ДСП65В від мережі:

1 - підлога, 0 м - 28,8 лк;

2 - прохід біля обладнання, 3 м - 35,1 лк;

3 - прохід, 6,10 м - 25,70 лк;

Інші значення в межах норми для аварійного освітлення (1/3 робочого).

Випадок 2. Освітлення ДСП65В з акумуляторами, потік 405 лм:

1 - підлога, 0,0 м - 1,4 лк;

2 - прохід біля обладнання, 3 м - 1,75 лк;

Решта значень від 1,03 до 1,76 лк.

Отже, аварійна установка за освітленістю відповідає вимозі - не менше ніж 1 лк.

3.9 Розробка електричної частини освітлювальної мережі котельні

Електропостачання приладів освітлювальної установки приміщення котельні передбачимо по груповим лініям від двох щитів - робочого і аварійного освітлення, розташованих поза приміщенням. Для ремонтного освітлення можна використовувати світильники на пониженій напрузі. Тому передбачено два ящики зі знижувальними трансформаторами потужністю 250 Вт .

Інформацію щодо груп споживачів наведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7. Вихідні дані для проектування електричної частини системи освітлення

Щит	Група	Тип освітлювальних приладів	К-сть, шт	Висота встановл., м	Потужн., Вт
ЩО	1	ДСП19Вех-22-001	3	3,5	219
		ДСП19Вех-35-001	3	3,5	
		ДСП19Вех-16-001	3	3,5	
	2	ДСП19Вех-22-001	6	9,0	200
		ДСП19Вех-22-001	2	6,5	
		ДСП19Вех-12-001	2	9,0	
	3	ДСП19Вех-12-001	2	9,0	103
		ДСП19Вех-35-001/	1	12,5	
		ДСП19Вех-22-001	2	12,5	
	4	ЯТП	2		500
ЩОА	1	ДСП65В-60-211 У2	6		660
	2	Світлові покажчики	4		12

Як кабелі електричної освітлювальної мережі оберемо мідні кабелі ВВГнг з ПВХ ізоляцією.

Розрахунок мережі за втратою напруги проведемо на прикладі групової лінії з найбільшою потужністю - групи № 1 щита ЩОА. На рис. 3.8 наведено схему щита.

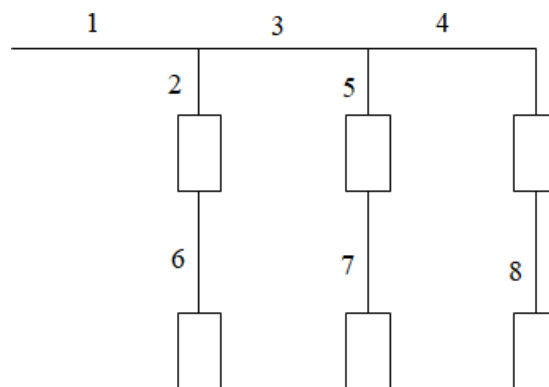


Рис. 3.8. Розрахункова схема для групи № 1 ЩОА

Вихідні дані про потужності ділянок наведено в табл. 3.8.

Таблиця 3.8. Вихідні дані і результати розрахунку для групи 2 ЩОА

№ ділянки	$l, \text{м}$	$P, \text{кВт}$	Сума моментів навантаж., $\text{кВт}\cdot\text{м}$	$\Delta U, \%$	$S_p, \text{м}^2$	Табличне значення S	Дійсна втрата напруги, %
1	30,00	0,360	16,560	2,500	0,550	1,50	0,600
2	4,50	0,120	1,080	1,900	0,050	1,50	0,060
3	6,00	0,240	4,680	1,900	0,210	1,50	0,080
4	13,50	0,120	2,160	1,820	0,100	1,50	0,120
5	4,50	0,120	1,080	1,820	0,050	1,50	0,060
6	9,00	0,060	0,540	1,840	0,020	1,50	0,030
7	9,00	0,060	0,540	1,760	0,030	1,50	0,030
8	9,00	0,060	0,540	1,700	0,030	1,50	0,210

Розрахунок площі перерізу виконується згідно виразу:

$$S = \frac{\sum_{k=1}^{k=n} M_k}{c \cdot \Delta U \%}, \quad (3.11)$$

де $\sum_{k=1}^{k=n} M_k$ – значення суми моментів ел. навантажень ділянки освітлювальної мережі котельні;

$\Delta U\%$ – втрата напруги.

S – величина площі поперечного перерізу жил електричних кабелів.

Для першої сума моментів навантажень складає:

$$\sum_{k=1}^{k=n} M_k = P_1 \cdot l_1 + P_2 \cdot l_2 + P_3 \cdot l_3 + P_4 \cdot l_4 + P_5 \cdot l_5 + P_6 \cdot l_6 + P_7 \cdot l_7 + P_8 \cdot l_8, \quad (3.12)$$

де P, l – значення потужності та довжини ділянки відповідно.

Підставляючи значення потужності та значення довжин у вираз (3.12), отримаємо наступне:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{k=n} M_k &= 0,36 \cdot 30,0 + 0,12 \cdot 4,5 + 0,24 \cdot 6,0 + 0,12 \cdot 13,5 + \\ &+ 0,12 \cdot 4,5 + 0,06 \cdot 9,0 + 0,06 \cdot 9,0 + 0,06 \cdot 9,0 = 16,56 \text{ кВт} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Підставивши значення суми моментів, значення коефіцієнту c та величину втрати напруги $\Delta U\% = 2,5\%$ у вираз (3.11) маємо:

$$S = \frac{16,56}{12 \cdot 2,5} = 0,55 \text{ м}^2.$$

Обираємо найближче більше значення величини площі поперечного перерізу провідника $S = 2,5 \text{ мм}^2$. Дійсна втрата напруги ΔU на ділянці становить:

$$\Delta U\% = \frac{0,36 \cdot 30}{12 \cdot 1,5} = 0,60 \%.$$

Величина розрахункової втрата напруги $\Delta U\%$ на 2-й та 3-й ділянках складає:

$$\Delta U\% = 2,5 - 0,6 = 1,9 \%$$

Аналогічним чином було проведено розрахунок інших ділянок мережі. В табл. 3.8 наведено результати цього розрахунку.

На підставі проведеного розрахунку приймаємо значення площі поперечного перерізу жил електричних кабелів освітлювальної мережі і для інших груп рівним $1,5 \text{ мм}^2$. Для вибору захисних апаратів проведемо розрахунок величини робочих струмів, що протікають по основним ділянкам групових ліній згідно виразу:

$$I_p = \frac{P_p}{U_\phi \cdot \cos \varphi}, \quad (3.13)$$

де P_p – значення розрахункової потужності ел. навантажень;

$\cos \varphi$ – величина коефіцієнта активної потужності;

$U_\phi = 230 \text{ В}$ – значення фазної напруги мережі.

Для ділянки № 1 групи № 1 щитка ЩОА розрахунковий струм становить:

$$I_p = \frac{0,36 \cdot 10^3}{230 \cdot 0,95} = 1,65 \text{ А.}$$

Отримане значення робочого струму використаємо для вибору апарата захисту групової лінії. Зупинимося на автоматичних вимикачах, уникаючи їх

хйбного спрацювання від пускових струмів при одночасному вмиканні світильників лінії. Тому для всіх групових обираємо автомати з кривою D.

В таблиці 3.9 приведені результати розрахунку та вибору захисних апаратів.

Таблиця 3.9. Результати розрахунку електричної освітлювальної мережі котельні

Щит освітлення	№ групи	Тип світлових приладів/висота установки	Висота уст., м	К-сть, шт	Потужність, Вт	Роб. струм, А	Марка кабелю	Тип захисного апарату
ЩО	I	ДСП19Вех-22	3,5	3	219	1,0	ВВГнг-3х1,5	ВА-2017/2А
		ДСП19Вех-35	3,5	3				
		ДСП19Вех-16	3,5	3				
	II	ДСП19Вех-22	9,0	6	200	0,9		ВА-2017/1А
		ДСП19Вех-22	6,5	2				
		ДСП19Вех-12	9,0	2				
	III	ДСП19Вех-12	9,0	2	103	0,5		ВА-2017/1А
		ДСП19Вех-35	12,5	1				
		ДСП19Вех-22	12,5	2				
	IV	ЯТП		2	500	2,3		ВА-2017/3А
ЩОА	I	ДСП65В-60-211		6	660	3,0	ВА-2017/4А	
	II	Світлові покажчики		4	12	0,05	ВА-2017/1А	

Висновки до розділу

1. За допомогою світлотехнічного розрахунку методом коефіцієнта використання визначено кількість та потужність світильників для системи загального освітлення котельні розміром 18х18 м, та висотою 18 м. Було

встановлено, що для забезпечення середньої освітленості 75 лк на рівні підлоги від групи світильників на висоті 13 м потрібно чотири світильники з КСС К та потоком 10800 лм і 2 світильники з потоком 13500 лм.

2. На основі 3D моделі котельні в DIALux EVO розраховано середню освітленість робочих поверхонь. Встановлено, що для забезпечення освітленості на рівні 75 лк на поверхнях проходів від світильників загального освітлення на різних рівнях, потрібно підвищити потужність установки до 1,2 кВт із застосуванням світильників зі світловіддачею 135 лм/Вт.

3. Запропоновано використати додаткові світильники для освітлення проходів; це дало змогу забезпечити нормовану освітленість при потужності системи 0,88 кВт.

4. Здійснено порівняння потужності установок загального і додаткового освітлення на базі світлодіодних та газорозрядних світильників. Виявлено, що найменш енергозатратною є система із світлодіодними світильниками загального і додаткового освітлення. Її потужність на 26 % та в 4,2 рази нижча порівняно з аналогами.

5. Для системи освітлення зі світильниками загального і додаткового освітлення було здійснено світлотехнічні розрахунки системи аварійного освітлення.

6. Проведено електротехнічний розрахунок освітлювальної мережі, за результатами якого було обрано необхідний переріз жил кабелів і тип апаратів захисту ліній.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Основні причини ураження струмом в приміщеннях котелень

Одним з головних чинників небезпеки для персоналу котелень є електротравматизм. Запобігання та мінімізація ймовірності електротравм полягає у недопущенні контакту з електроприладами. Для оцінки ризику ураження використовують такі показники:

Причини ураження струмом:

- дотик до струмоведучих частин під напругою;
- дотик до відімкнених частин з залишковим зарядом чи внаслідок помилкового ввімкнення;
- дотик до корпусів та огорожень при переході на них заряду;
- ураження кроковою напругою при замиканні на землю.

Причини електротравм:

- організаційні (порушення правил, недоліки навчання);
- технічні (погіршення ізоляції, відсутність захисту, дефекти монтажу);
- психофізіологічні (перевтома, невідповідність показників роботи);
- соціальні (непоко́ра, цікавість).

Забезпечення електробезпеки базується на виконанні вимог ПУЕ і правил охорони праці в процесі експлуатації електроустановок. При виборі засобів захисту враховують: силу струму через тіло людини, напругу дотику, тривалість протікання струму.

Відповідно до нормативів, для захисту від прямого дотику струмоведучі частини мають бути повністю ізольовані з можливістю усунення ізоляції лише шляхом руйнування.

Для виробів, що виготовлені на заводі, ізоляція повинна відповідати стандартам даного обладнання.

Для іншого устаткування захист забезпечується ізоляцією, здатною тривалий час протистояти навантаженням під час експлуатації. Фарби, лаки тощо самі по собі не є достатньою ізоляцією за нормальних умов.

Автоматичне відключення електропостачання при пошкодженні ізоляції потрібне для запобігання виникнення небезпечної за тривалістю напруги дотику. Відключення здійснює захисний пристрій для захисту від непрямого дотику шляхом автоматичного обриву кола живлення при замиканні струмоведучої частини на відкриту частину або захисний провідник. Час відключення має забезпечувати безпеку людини також у разі перевищення граничних 50 В змінного струму та 120 В постійного струму напруги дотику. Для системи TN при 230 В час становить 0,8 с.

4.2 Аналіз небезпечних факторів, які виникають при експлуатації котелень

При роботі на енергетичному об'єкті персонал може зазнавати впливу шкідливих виробничих факторів, зокрема:

- електромагнітні та електричні поля;
- параметри мікроклімату;
- хімічні речовини;
- виробничий шум.

Електромагнітні поля - це змінні магнітні та електричні поля, що поширюються у просторі. Ступінь їх біологічного впливу залежить від частоти, напруженості, інтенсивності та тривалості. Найбільшу небезпеку становить тривале опромінення протягом декількох років. Можливі гострі та хронічні ураження, порушення систем і органів людини. Найбільш суттєвий вплив на електромагнітну обстановку мають кабельні лінії, розподільні щити та силові трансформатори.

Токсичні речовини викликають отруєння організму або впливають на окремі системи, зокрема кровотворну чи нервову. Можуть спричиняти патологічні зміни в органах. До них належать чадний газ, селітра, концентровані кислоти/луги тощо.

За фізіологічною дією шкідливі речовини поділяють на:

- подразнюючі - уражають дихальні шляхи, очі, шкіру;
- задушливі - викликають набряк легенів;
- наркотичні - здійснюють вплив на центральну нервову систему;
- еанцерогенні - сприяють виникненню пухлин

Виробничий мікроклімат зазвичай характеризується значною мінливістю температури, вологості та рухомості повітря в залежності від технології, клімату, конструкцій, організації повітрообміну.

Джерелами тепла є:

- технологічне устаткування з високими температурами (печі, котли тощо);
- нагріті деталі та матеріали (метал, скло);
- тепло від механізмів.

Надлишкова вологість повітря понад 70-75% за температури понад 30°C негативно впливає на терморегуляцію організму. Фізична праця в таких умовах прискорює серцебиття, знижує тиск. Низькі температури можуть спричинити переохолодження та застуду.

Людина нормально функціонує за температури 18-20°C, відносної вологості 40-60%, швидкості руху повітря до 0,2 м/с. Високі температури послаблюють організм, низькі - сковують рухи. Можливі перегрів, тепловий удар від високої температури, вологості чи інфрачервоного випромінювання.

Високочастотний шум 75-85 дБ несприятливо впливає на самопочуття та організм. У працівників, що мають справу з гуркітливими механізмами, часто розвиваються стійкі порушення слуху та профзахворювання. Найбільше слух погіршується протягом перших 10 років роботи.

Тривалий вплив шуму призводить до хронічної втоми, зниження працездатності, порушень сну, терморегуляції, що може спричинити аварії. Короткочасна дія високоінтенсивного шуму може викликати пошкодження чи розрив барабанної перетинки, який супроводжується болем та втратою слуху.

Крім того, шум впливає на травлення, кровообіг, серцево-судинну систему. При постійному фоні до 70 дБ порушуються ендокринна та нервова системи, до 90 дБ - слух, до 120 дБ - виникає фізичний біль. Шум погіршує самопочуття та знижує продуктивність праці приблизно на 10-15%. Тому боротьба з ним має не тільки санітарне, а й техніко-економічне значення.

Окрему групу становлять фактори важкості праці - навантаження на органи чуття, нервову систему, емоційну сферу, монотонність.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Виконані в магістерській роботі дослідження дають можливість зробити такі висновки:

1. Визначено головні напрямки підвищення рівня енергоефективності освітлювальних установок приміщень котелень. Для забезпечення високої енергоефективності при проектуванні чи реконструкції необхідне застосування енергозберігаючих джерел світла та світильників з ефективними кривими сили світла.

2. В результаті аналізу характеристик, переваг та недоліків різних джерел світла було встановлено, що світлодіодні джерела переважають за світловіддачею, терміном служби, безпечністю та екологічністю. Крім того, при переході на кривих сили світла типу К1, К2, Г2, Г3, потенціал економії електроенергії становить 14-40%, що й зумовило постановку завдання роботи

3. За результатами аналізу обрано методи розрахунку. Для системи освітлення котельні прийнято метод коеф. використання світлового потоку і метод випромінюваності, який використовується в DIALux.

4. На підставі залежності відношення відстані до висоти від коефіцієнта форми КСС розраховано кількість світильників ДСП65В різних модифікацій для системи освітлення котельні.

5. Шляхом екстраполяції залежностей коефіцієнтів використання світлового потоку від індексів КСС К, Г і М визначено, що для частин котельні з індексами приміщень 0,55 і 0,31 коефіцієнти становлять відповідно 73,10% -39,70% та 59,50 - 28,30%.

6. У DIALux виконано моделювання та розрахунок установки загального освітлення котельні без урахування затінення. Встановлено забезпечення середньої освітленості 81 лк, що відповідає нормам. Для врахування затінення в DIALux EVO створено 3D-модель з обладнанням. Встановлено, що установка з 2-х світильників ДСП65В-100-211 та 4-х

ДСП65В-80-211 забезпечує середню освітленість підлоги на рівні 81 лк. Це значення відповідає діючим будівельним нормам. В DIALux EVO створено 3D-модель приміщення з обладнанням для врахування затінення.

7. За допомогою світлотехнічного розрахунку методом коефіцієнта використання визначено кількість та потужність світильників для системи загального освітлення котельні розміром 18х18 м, та висотою 18 м. Було встановлено, що для забезпечення середньої освітленості 75 лк на рівні підлоги від групи світильників на висоті 13 м потрібно чотири світильники з КСС К та потоком 10800 лм і 2 світильники з потоком 13500 лм.

8. На основі 3D моделі котельні в DIALux EVO розраховано середню освітленість робочих поверхонь. Встановлено, що для забезпечення освітленості на рівні 75 лк на поверхнях проходів від світильників загального освітлення на різних рівнях, потрібно підвищити потужність установки до 1,2 кВт із застосуванням світильників зі світловіддачею 135 лм/Вт.

9. Запропоновано використати додаткові світильники для освітлення проходів; це дало змогу забезпечити нормовану освітленість при потужності системи 0,88 кВт.

10. Здійснено порівняння потужності установок загального і додаткового освітлення на базі світлодіодних та газорозрядних світильників. Виявлено, що найменш енергозатратною є система із світлодіодними світильниками загального і додаткового освітлення. Її потужність на 26 % та в 4,2 рази нижча порівняно з аналогами.

11. Для системи освітлення зі світильниками загального і додаткового освітлення було здійснено світлотехнічні розрахунки системи аварійного освітлення.

12. Проведено електротехнічний розрахунок освітлювальної мережі, за результатами якого було обрано необхідний переріз жил кабелів і тип апаратів захисту ліній.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Енергоефективні системи освітлення для промислових та комунально-побутових споживачів : навч. посіб. / П. Г. Плешков, А. Ю. Орлович, С. В. Серебренніков [та ін.] ; ред. П. Г. Плешков. - Кропивницький : ЦНТУ, 2018. - 246 с.
2. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. / [О. І. Соловей, В. П. Розен, П. Г. Плешков та ін.]; Кіровоград. нац. техн. ун-т. – Черкаси: Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.
3. В.М. Підпригора Електричні джерела світла: короткий огляд. – Електроінформ (енергетика, електротехніка, електроніка). - № 2, 2003 г. с.26.
4. О.С.Чечетко, Л.О. Омецінська " Впровадження енергоефективного освітлення в Житомирській області" Энергосбережение, энергетика, энергоаудит № 8, 2007 г
5. Р.В. Пилипчук, В.В. Щиренко "Більше світла – менше спожитої електроенергії. Енергоощадність в освітленні" Електроінформ, № 3, 2002 р., №1, 2003 р.
6. О. В. Бабенко, А. В. Гадай, О. М. Захарчук. Автоматичне керування освітленням. Наукові праці ВНТУ, 2013, № 1.
7. ДБН В.2.5-77:2014. Котельні. – К.: Мінрегіон України, 2014.– 54 с.
8. ДБН В.2.5 – 28 – 2018. Природне і штучне освітлення.– К.: Мінрегіон України, 2018.– 137 с.
9. Говоров П.П. Освітлення промислових об'єктів. Навчальний посібник для студентів вищих закладів освіти / П.П. Говоров, Р.В. Пилипчук, А.І. Токмань, В.В. Щиренко, Р.Ю. Яремчук – Тернопіль: Джура, 2008. – 388., арк. іл.
10. Курс лекцій з дисципліни «Проектування промислового освітлення» для студентів спеціальності 8.05070105 «Світлотехніка і джерела

світла» / Укл. Костик Л.М., ТНТУ, 2015. - 132 с.

11. Пилипчук Р. Проблеми енергозбереження в освітлювальних установках // Р. Пилипчук; В. Щиренко – Світлотехніка та електротехніка: історія, проблеми, перспективи: зб. тез доповідей II міжнародної науково-технічна конференції, Електронний ресурс] – [Цит. 2021, 03 листопада]. Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/60844972.pdf>

12. ДСТУ EN 60598-1:2017 Світильники. Частина 1. Загальні вимоги та випробування (EN 60598-1:2015; АС:2015; АС:2016; АС:2017, IDT; ІЕС 60598- 1:2014, MOD; COR1:2015

13. Гайдамака В.В. Використання ефективних засобів освітлення промислових приміщень // В.В. Гайдамака; В.С. Душа; Д.І. Черчик; Я.М. Осадца – Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 24 – 25 листоп. 2021.). Том II / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2019. – С. 125.

14. Корчемний М. О. Ідентифікація технологічних об'єктів. Навчально-методичний посібник. / М.О. Корчемний. – Тернопіль. – ТНПУ. – 2007. – 111 с.

15. ДСП65В [Електронний ресурс] – [Цит. 2021, 22 листопада]. Режим доступу: http://vatra.ua/download/PDF_VATRA/prom/VATRA-UKR_DSP65V.pdf

16. ДСП19УЕХ [Електронний ресурс] – [Цит. 2021, 25 листопада]. Режим доступу: http://vatra.ua/download/PDF_VATRA/ex/VATRA-2019-UKR_DSP19UEX.pdf

17. ДБП59В2ЕХ [Електронний ресурс] – [Цит. 2021, 25 листопада]. Режим доступу: http://vatra.ua/download/PDF_VATRA/ex/VATRA-2020-UKR_DBP59V2Ex.pdf

18. ГСП20 [Електронний ресурс] – [Цит. 2021, 20 листопада]. Режим доступу: http://vatra.ua/download/PDF_VATRA/prom/VATRA-2018-

UKR_GSP20- JSP20-RSP20-LSP20-NSP20-RSP16-RSP12.pdf

19. ГСП18ВEx, ЖСП18ВEx, РСП18ВEx [Електронний ресурс] – [Цит. 2021, 20 листопада]. Режим доступу: http://vatra.ua/download/PDF_VATRA/ex/VATRA-2018-UKR_GSP18VEx-JSP18VEx-RSP18VEx.pdf

20. Правила улаштування електроустановок. – К.: Мінрегіонвугілля України, 2017. – 617 с.