

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Енергоефективність застосування світлодіодних світильників в системі освітлення котельні

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

та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Гайдамака В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Белякова І.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Вакуленко О.О.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Тарасенко М.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Козак К.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Гайдамака В.В. Енергоефективність застосування світлодіодних світильників в системі освітлення котельні. 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕМм-61. – Тернопіль: ТНТУ, 2021.

В роботі запропоновано варіанти освітлення приміщення котельні ПРАТ «Запорізький олійно-екстракційний завод» із використанням світлових приладів на основі напівпровідникових та розрядних джерел світла.

Робота складається із розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань та додатків. Обсяг розрахунково-пояснювальної записки – 70 аркушів формату А4. Обсяг графічної частини – 20 аркушів (слайдів) формату А4.

Ключові слова: освітленість, крива сили світла, світловий потік, потужність, робочий струм.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Аналіз основних вимог до систем освітлення котелень	9
1.2 Основні напрямки підвищення енергоефективності освітлення котелень	12
1.3 Висновки до розділу	18
2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	19
2.1 Вибір методу світлотехнічного розрахунку освітлення котельні	19
2.2 Визначення кількості світлових приладів в системі загального освітлення котельні	22
2.3 Розрахунок коефіцієнта корисної дії приміщень	28
2.4. Моделювання та розрахунок освітлювальних установок котельні	30
2.5 Висновки до розділу	32
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	34
3.1 Основні характеристики котельного приміщення	34
3.2 Вибір світлових приладів для системи освітлення приміщення котельні	35
3.3 Розрахунок коефіцієнта запасу	37
3.4 Світлотехнічний розрахунок системи освітлення за допомогою методу коефіцієнта використання	38
3.5 Світлотехнічний розрахунок освітлювальної установки приміщення котельні із використанням пакету DIALux EVO	41
3.6 Система освітлення котельні із використанням газорозрядних ламп	45
3.7 Порівняння варіантів освітлення приміщення котельні	51

3.8 Розрахунок аварійного освітлення	52
3.9 Розрахунок електричної освітлювальної мережі приміщення котельні	53
3.10 Висновки до розділу	57
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	60
4.1 Причини ураження електричним струмом в приміщеннях котелень	60
4.2. Аналіз факторів небезпеки, які можуть виникати при експлуатації котелень	62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	68

ВСТУП

Актуальність теми. Першочерговим значенням при виборі освітлювальних систем для виробничих приміщень мають точність зорової роботи, котра повинна виконуватись, характерні особливості виробничих процесів на підприємстві, світлокліматична зона місцевості та інші фактори. Умови освітлення у виробничих будівлях створюють колосальний вплив на емоційний та фізичний стан працюючих, на якість виконання роботи, на рівень травматизму.

Однак до освітлювальних установок як виробничих, так і адміністративних приміщень висуваються вимоги щодо їх енергоефективності. Основними шляхами підвищення енергоефективності освітлювальних установок є застосування енергоощадних джерел світла з високими рівнями світлової віддачі, а також застосування світлових приладів на їх основі із ефективними кривими сили світла.

В даний час масового впровадження в системи освітлення набули напівпровідникові джерела світла та прилади на їх основі. Це можна пояснити такими їх перевагами, як висока світлова віддача, більший термін служби, необхідні колориметричні характеристики, екологічність. На основі цих джерел світла можна розробити та виготовити світлові прилади із забезпеченням практично будь-яких характеристик щодо світлового розподілу.

Котельні цехи є одними із основних елементів роботи будь-якого виробничого підприємства, а їх системи освітлення вимагають особливої уваги при їх проектуванні. В нормативних документах встановлюються загальні характеристики освітленості та безпеки, а вибір конкретних світлових приладів залежить від індивідуальних особливостей котельного приміщення.

Тому **актуальною** є задача проектування освітлювальних установок котельних цехів із забезпеченням енергоефективності систем освітлення на основі використання енергоощадних напівпровідникових джерел світла та світлових приладів на їх основі.

Мета роботи: для приміщення котельні ПРАТ «Запорізький олійно-екстракційний завод» розробити систему освітлення, котра б забезпечувала відповідність характеристик нормативним вимогам при мінімальних затратах електроенергії на живлення світлових приладів

Для досягнення мети в роботі були поставлені і вирішені наступні завдання:

- світлотехнічний розрахунок систем освітлення котельні;
- розробка тривимірної віртуальної моделі системи освітлення приміщення котельні, котра б при розрахунку враховувала можливі затінення на робочих поверхнях від обладнання, розміщеного в котельні;
- вибір числа та потужності напівпровідникових світлових приладів для варіантів загального та загального і додаткового освітлення;
- вибір потужності світлових приладів-аналогів на основі розрядних джерел світла для системи загального та додаткового освітлення та порівняння освітлювальної установки по потужності із освітлювальними установками на основі світлових приладів з напівпровідниковими джерелами світла;
- електротехнічний розрахунок електричної освітлювальної мережі та вибір, на основі його результатів, необхідної площі поперечного перерізу жил кабелів та апаратів захисту.

Об'єкт дослідження: процеси проектування освітлювальних установок котельних приміщень.

Предмет дослідження: енергоощадні джерела світла та світлові прилади на їх основі з ефективними кривими сили світла в системах освітлення котельних цехів.

Наукова новизна: в результаті розрахунку, виконаного на основі екстраполяції залежностей коефіцієнта корисної дії приміщень від індексів для кривих сил світла світлових приладів типу К, Г та М, встановлено, що коефіцієнт корисної дії для приміщень з індексами 0,55 та 0,31 становить в межах від 73,1 до 39,7 % та від 59,5 до 28,3 % відповідно.

Практична цінність: на основі проведеного моделювання та

світлотехнічного розрахунку систем робочого та аварійного освітлення приміщення котельні розмірами $18 \times 18 \text{ м}^2$ та висотою 18 м, запропоновано три варіанти освітлювальної установки. Встановлено, що найбільш енергоефективною буде освітлювальна установка потужністю 0,882 кВт, до складу якої входять напівпровідникові світлові прилади для загального та додаткового освітлення робочих поверхонь.

Апробація результатів роботи. Результати, отримані під час написання роботи, представлено на X Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (24 – 25 листопада 2021 р., Тернопіль, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя) [12].

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз основних вимог до систем освітлення котелень

Під котельнею або котельною установкою розуміють приміщення, споруду, будівлю або їх комплекс з розміщеним обладнанням та пристроями, призначенням котрих є генерування теплової енергії та передавання її до теплоносія, в ролі котрого може бути водяна пара або гаряча вода) з метою забезпечення теплом споживачів [1].

В залежності від мети подальшого використання теплової енергії, котельні поділяються на [2]:

- енергетичні, котрі зазвичай входять до комплексів електричних станцій, і основним завданням котрих є забезпечення паром парових установок в системах виробництва електроенергії;

- опалювально-виробничі, котрі споруджено на промислових підприємствах, і забезпечують теплом системи опалення, вентиляції, гарячого водопостачання виробничі та промислові будівлі, а також виробничі технологічні процеси;

- опалювальні, призначені для забезпечення теплом та гарячим водопостачанням будівель житлового та громадського призначення.

Залежно від масштабності тепlopостачання опалювальні котельні поділяються на:

- місцеві, котрі зазвичай обладнуються водогрійними котлами, максимальна температура нагрівання води у яких становить 115 °С або паровими котлами, котрі забезпечують максимальний робочий тиск на рівні до 70 кПа, і відповідно до призначення, можуть забезпечувати теплом одну або декілька будівель;

- групові котельні, до обладнання котрих входять парові або водогрійні котли із вищою продуктивністю, розміщені зазвичай в окремих будівлях і

генерують тепло для груп будівель, житлових кварталів чи окремих мікрорайонів;

- районні, призначені для постачання тепла для великих житлових масивів, і обладнані потужними водогрійними чи паровими котлами.

По надійності щодо генерації та відпуску тепла, котельні поділяються на дві категорії [1]. До першої категорії відносяться котельні, котрі живлять теплом споживачів, припинення чи порушення тепlopостачання котрих може призвести до небезпеки для людей та значних матеріальних збитків. До другої категорії відносять котельні, котрі живлять всіх інших споживачів.

Незалежно від виду котельень, до їх освітлювальних установок висуваються аналогічні вимоги, як і до освітлення промислових об'єктів, а саме [3]:

1) забезпечення умов чіткого бачення працюючого шляхом створення необхідного рівня освітленості на робочих місцях, робочих чи умовно-робочих поверхнях;

Експериментальними дослідженнями [4] показано, що значення освітленості має суттєвий вплив на роботу зорового апарату: зі збільшенням освітленості до 1000 лк зростає рівень продуктивності праці та знижується рівень втоми, а подальше зростання освітленості пов'язане зі зростанням сліпучої дії об'єктів спостереження (рис. 1.1).

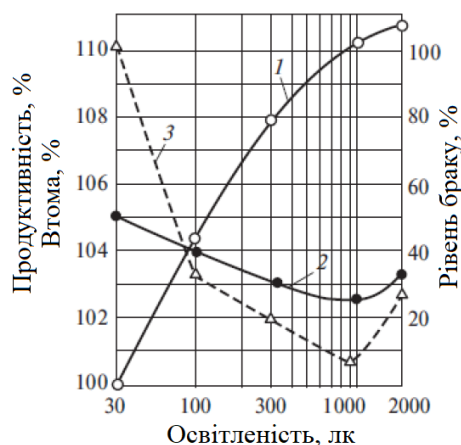


Рисунок 1.1 – Залежність продуктивності праці (1), рівня втоми (2) та рівня браку (3) від освітленості робочого місця

Крім того, встановлено, що рівень бадьорості та працездатності залежить від освітленості в денний та нічний час. Показано, що під час роботи в нічну зміну рівень пробудження, котрий безпосередньо впливає на рівень бадьорості зростає з підвищенням рівня освітленості (рис. 1.2) [5].

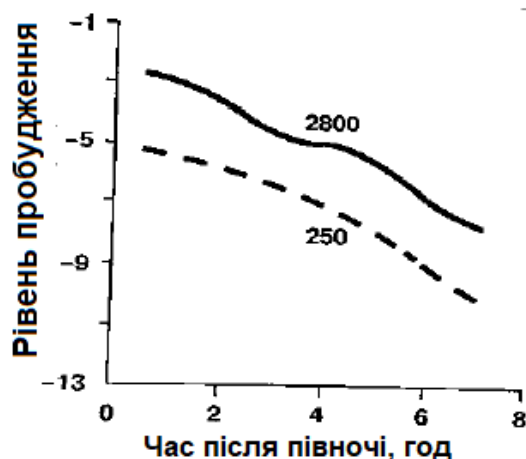


Рисунок 1.2 – Залежність рівня бадьорості від кількості годин роботи в нічну зміну та освітленості

2) відсутність засліплення, котре може виникати при невірному виборі типу світлового приладу, невдалому їх розміщенні в приміщенні чи встановленні на недостатню висоту;

3) необхідні умови до розрізнення кольору об'єктів спостереження, котрі забезпечуються правильним вибором джерел світла по кольоропередачі;

4) рівномірність розподілу освітлення на робочих поверхнях, котра забезпечується шляхом вибору світлових приладів із необхідною кривою сили, а також їх кількістю та розміщенням;

5) уникнення та недопущення суттєвих змін освітленості на робочих поверхнях, викликаних коливаннями напруги в електричній освітлювальній мережі, чи механічними коливаннями світлових приладів;

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

б) відповідність світлових приладів умовам середовища в приміщенні: підвищена вологість, наявність диму чи кіптяви, пожежо- чи вибухонебезпеки, котра забезпечується вибором необхідних типів світлових приладів щодо вибухозахищеності, пиловологозахисту, температури їх експлуатації;

7) створення умов для зручного обслуговування світлових приладів з метою вільного доступу для заміни відпрацьованих джерел світла, очищення відбивачів та розсіювачів світильників від пилу та бруду.

Крім того, враховуючи недоліки, пов'язані із експлуатацією світлових приладів, встановлених на майданчиках котлів і економайзерів, (наявність високої температури, нерівномірність освітлення, можливість механічного впливу на світлові прилади та електропроводку), світильники рекомендується по можливості розміщувати на будівельних конструкціях будинку [6].

1.2 Основні напрямки підвищення енергоефективності освітлення котелень

Нераціональність використання електроенергії в освітлювальних установках пов'язана із низьким коефіцієнтом корисної дії світлових приладів, а також із застосуванням світильників із малоефективними кривими розподілу сили світла. Вирішення проблеми підвищення енергоефективності освітлювальних систем базується на вирішенні наступних проблем [7]:

1. Удосконалення освітлювальних засобів шляхом застосування джерел світла із високою світловою віддачею та світлових приладів на їх основі із високим коефіцієнтом корисної дії.

2. Вдосконалення способів освітлення шляхом впровадження нових принципів щодо проектування та нормування систем освітлення.

3. Зниження експлуатаційних витрат шляхом застосування енергоефективних та економних джерел світла, світлових приладів та керування роботою освітлювальних систем.

4. Стимулювання споживачів щодо використання енергоощадних джерел світла.

Як бачимо, найпоширенішим способом підвищення енергоефективності освітлювальних установок є використання високоефективних джерел світла в поєднанні із світловими приладами з ефективними кривими силами світла.

Для цього проведемо аналіз характеристик джерел світла. Вибір джерел світла здійснюється на основі аналізу та порівняння електричних (номінальна напруга живлення, потужність) фотометричних (світловий потік, сила світла; світлова віддача, спектральний склад випромінювання) та експлуатаційних (термін служби, температура експлуатації, вартість).

За своє природою всі електричні джерела світла можна поділити на теплові, розрядні та напівпровідникові. У теплових джерелах світла випромінювання видимого діапазону отримується шляхом нагрівання електричним струмом нитки розжарення. Незважаючи на такі переваги ламп розжарення, як зручність експлуатації, низька вартість, високий індекс кольоропередачі (рис. 1.3), відсутність пускорегулювальної апаратури, недоліками цих джерел світла є низька світлова віддача (від 7 до 40 лм/Вт) (рис. 1.4), дуже низький термін служби (не більше 3 тис. год.) (рис. 1.5).



Рисунок 1.3 – Порівняння за індексом передачі кольору різних джерел світла

Саме ці недоліки та кращі характеристики, притаманні іншим джерелам світла все частіше є аргументом для відмови споживачів від ламп розжарення, котрі все більше застосовуються в тих випадках, де застосування світлових приладів із іншими джерелами живлення є затрудненим або неможливим.

Видиме випромінювання від газорозрядних ламп внаслідок перетворення люмінесценцією невидимого ультрафіолетового випромінювання, отриманого внаслідок електричних розрядів в середовищах парів металу та інертних газів, у видиме. Основні переваги цих джерел світла, в порівнянні із лампами розжарення полягають у суттєво більших рівнях світлової віддачі (від 40 до 150 лм/Вт), терміну служби (від 8 до 20 тис. год). Шляхом підбирання відповідним чином інертних газів, складу парів металу, люмінофору для газорозрядних ламп можна забезпечити світловий потік практично будь-якого спектру.

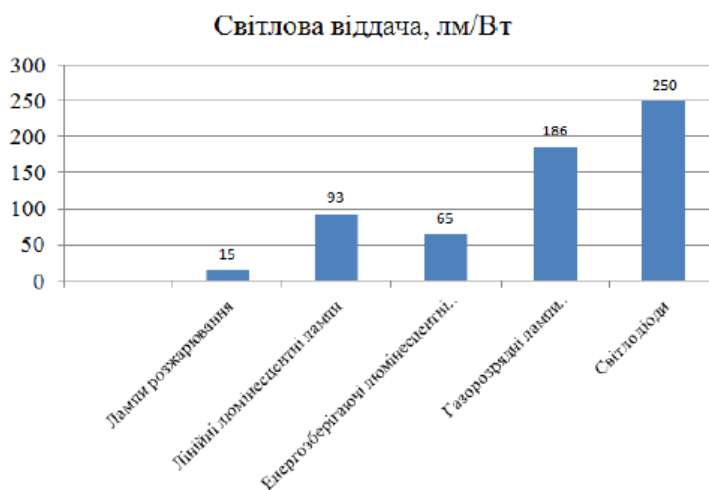


Рисунок 1.4 – Порівняння рівнів світловіддачі для різних джерел оптичного випромінювання

Основні недоліки розрядних джерел світла:

- 1) можливість пульсацій світлового потоку, що може призвести до появи стробоскопічного ефекту, котрий спотворює зорове сприйняття;
- 2) необхідність застосування для полегшення запалювання спеціальної пуско-регулювальної апаратури, досить тривалий час розгорання, вплив на

працездатність температури навколишнього середовища, в якому використовуються лампи;

3) наявність в складі ртутної складової, що потребує спеціальних методів утилізації .

У напівпровідникових джерелах світла (світлодіодах) випромінювання оптичного діапазону утворюється при пропусканні електричного струму через р-п перехід в прямому напрямку рекомбінацією електронів і дірок із випромінюванням фотонів. Основними перевагами світлодіодів є:

- висока світлова віддача (до 250 лм/Вт);
- термін служби 30 ... 100 тис. год;
- можливість отримання різних спектральних та колірних характеристик без втрат світлового потоку у світлових фільтрах;
- безпека використання та малі розміри
- відсутність парів ртуті, а отже немає необхідності залучати додаткові витрати на утилізацію;
- високий індекс кольоропередачі (від 80 і вище).



Рисунок 1.5 – Термін служби джерел світла

Незважаючи на недоліки, пов'язані із проблемою перегрівання та застосуванням спеціальних джерел струму, що робить напівпровідникові

джерела світла та світлові прилади на їх основі більш вартісними, світлодіоди знаходять зараз все більше застосування.

Вибір світлових приладів з ефективними кривими світлорозподілу здійснюється в залежності від характеристик приміщень, а саме його габаритних розмірів, взаємного розміщення робочих поверхонь та світильників, а також висоти їх встановлення. Світлорозподіл світлових приладів характеризується класами і типами кривих сили світла (КСС), характеристики котрих представлено на рис. 1.6 та в табл. 1.1.

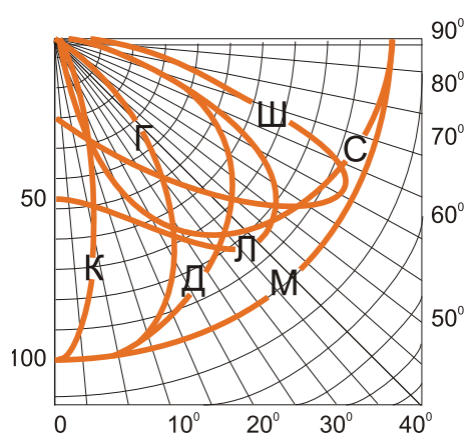


Рисунок 1.6 – Графіки кривих сил світла

Таблиця 1.1 – Характеристики кривих сил світла

Тип КСС		Зона напрямку максимальної сили світла, град.
К	Концентрована	0 – 15
Г	Глибока	0 – 30, 180 – 150
Д	Косинусна	0 – 35, 180 – 145
Л	Напівширока	35 – 55, 145 – 125
Ш	Широка	55 – 85, 125 – 95
М	Рівномірна	0 – 180
С	Синусна	70 – 90, 110 – 90

Для виробничих приміщень, в залежності від висоти, в основному рекомендується застосовувати КСС типів К, Г, Д, Л із врахуванням того, що зі збільшенням висоти та освітленості на робочій поверхні кут розсіювання світильника повинен бути меншим.

Вибір типу кривої сили світла для загального рівномірного освітлення визначається залежно від співвідношення [7, 8]:

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

де L – відстань між сусідніми рядами світлових приладів або сусідніми світловими приладами в ряду;

H – висота розташування світильників над робочою поверхнею.

В табл. 1.2 приведено рекомендовані та найбільші значення λ для забезпечення рівномірності освітлення світловими приладами з різними КСС [8,9].

Таблиця 1.2 – Рекомендовані та найбільш допустимі значення λ при використанні світлових приладів з різними КСС

Тип КСС	λ	
	Рекомендоване	Найбільш допустиме
К	Від 0,4 до 0,7	0,9
Г	Від 0,8 до 1,2	1,4
Д	Від 1,2 до 2,6	2,1
М	Від 1,8 до 2,6	3,4
Л	Від 1,4 до 2,0	2,3

Крім того при переході від світлових приладів із КСС типу Д на інші КСС можна досягнути економії електричної енергії від 14 до 40 % (табл. 1.3) [8]. Тому основними завданнями в даній роботі є підбір та проектування такої системи освітлення котельні із використанням напівпровідникових світлових приладів, котра б із найменшою встановленою потужністю забезпечувала б нормовані значення освітленості на робочих поверхнях.

Таблиця 1.3 – Потенціал економії електричної енергії при переході від КСС типу Д на інші

Висота приміщення, м	Висота приміщень, м			
	5,0	10,0	15,0	20,0
К1	18	28	32	34
К2	-	31	34	40
Г2	14	22	26	28
Г3	15	25	28	32

1.3 Висновки до розділу

1. Проаналізовано основні вимоги до систем освітлення котельних приміщень.

2. Визначено основні шляхи підвищення енергоефективності освітлювальних установок для котелень. Встановлено, що при проектуванні нових чи реконструкції діючих котелень для забезпечення високого рівня енергоефективності необхідним є застосування енергоощадних джерел світла та світлових приладів з ефективними КСС.

3. На підставі аналізу характеристик, а також переваг та недоліків різних типів джерел світла встановлено що напівпровідникові джерела світла переважають інші по світловіддачі, терміну служби, безпечності та екологічності. Крім того при визначенні потенціалу економії електричної енергії при переході на ефективні КСС встановлено, що при переході на світлові прилади з КСС типу Г2, Г3, К1, К2 потенціал економії електричної енергії становить від 14 до 40 %, що стало причиною для формування завдання до даної роботи.

2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір методу світлотехнічного розрахунку освітлення котельні

При проектуванні освітлювальних установок світлотехнічні розрахунки здійснюються на основі двох методів, основні формули, за допомогою котрих розраховується освітленість E , мають вигляд [8, 9]:

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

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

де Φ – світловий потік, який надходить на робочу поверхню;

S – площа приміщення, яке освітлюється;

I_{α} – сила світла в напрямку до розрахункової точки;

α – кут між напрямком сили світла до розрахункової точки та нормаллю до розрахункової поверхні, котра проходить через розрахункову точку (рис. 2.1);

l – відстань від світного елемента до розрахункової точки.

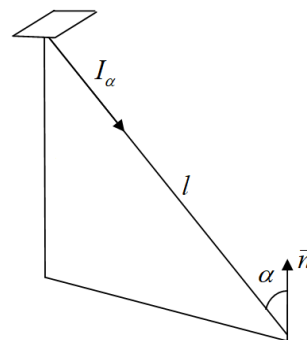


Рисунок 2.1 – Геометрична схема розрахунку освітленості за допомогою точкового методу

Метод коефіцієнта використання світлового потоку, базовою для якого є формула (2.1), використовується для розрахунку середньої освітленості горизонтальних поверхонь із врахуванням відбиваючих властивостей

поверхонь, котрі обмежують внутрішній простір приміщення. Застосування цього методу є доцільним для світлотехнічного розрахунку систем загального рівномірного освітлення. Розрахунок максимальних, мінімальних значень освітленості, а також показників рівномірності її розподілу за допомогою цього методу не проводиться.

Для цього використовується точковий метод, котрий базується на формулі (2.2). За допомогою даного методу розраховується освітленість в конкретній точці розрахункової поверхні при будь-якому її розташуванні відносно джерел світла. Обмеженням цього методу є те, що враховується тільки пряма складова освітленості, а відбита може оцінюватись лиш наближено. Крім того в цьому методі потрібно враховувати габаритні розміри джерел випромінювання по відношенні до відстаней між ними та розрахунковими точками.

Для врахування прямої та відбитої складової для розрахунку освітленості на робочих поверхнях використовуються спеціальні програми, в котрих алгоритм розрахунку базується на основі методу випромінюваності.

В пакетах програм для моделювання та розрахунку систем освітлення використовується алгоритм розрахунку, який базується на основі методу випромінюваності (Radiosity) [10]. Основою цього методу є визначення світимостей в точках, розміщених на поверхні з ідеальним дифузним відбиванням [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 $M(r)$ – світимість точки, розміщеної на поверхні об'єкта;

$M_0(\vec{r})$ – світимість, яка визначається прямою складовою потоку випромінювання від джерела світла;

$\rho(\vec{r})$ – коефіцієнт відбивання поверхні в місці точки з радіусом-вектором \vec{r}

$V(\vec{r}, \vec{r}')$ – функція, яка характеризує видимість елемента $d^2\vec{r}'$ з елемента

$d^2\vec{r}$

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

падаючого на елемент поверхні $d^2\vec{r}$ до світлового потоку, котрий випромінюється елементом поверхні $d^2\vec{r}'$ (рис. 2.2).

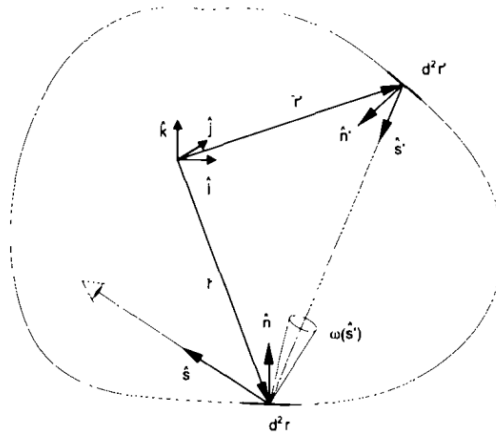


Рисунок 2.2 – Геометрична схема для розрахунку світимості

Шляхом заміни інтеграла сумою і врахування $M_0 = const$, $\rho = const$ в межах елемента, поверхні отриманого шляхом розбиття, рівняння (3.3) приводиться до виду

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

де

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

$$r_{ij} = |\dot{r}_i - \dot{r}_j|,$$

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

В подальших розрахунках для визначення світлового потоку світлових приладів для загального освітлення приміщень котельні використаємо метод коефіцієнта використання світлового потоку, а для розрахунку значень освітленості в кожній точці та оцінки її розподілу по робочих поверхнях – метод випромінюваності, котрий є основою для розрахунків в пакетах DIALux та DIALux EVO.

2.2 Визначення кількості світлових приладів в системі загального освітлення котельні

Одним із завдань світлотехнічного розрахунку на основі методу коефіцієнта використання є визначення потужності світлових приладів в залежності від їх кількості, рівня нормованої освітленості, коефіцієнта запасу та коефіцієнта мінімальної освітленості. Кількість світлових приладів, які встановлюються в приміщенні визначимо на основі даних, наведених в табл. 1.2, по яких побудовано діаграми залежності значень λ від типу кривих сили світла світлових приладів (рис. 2.3).

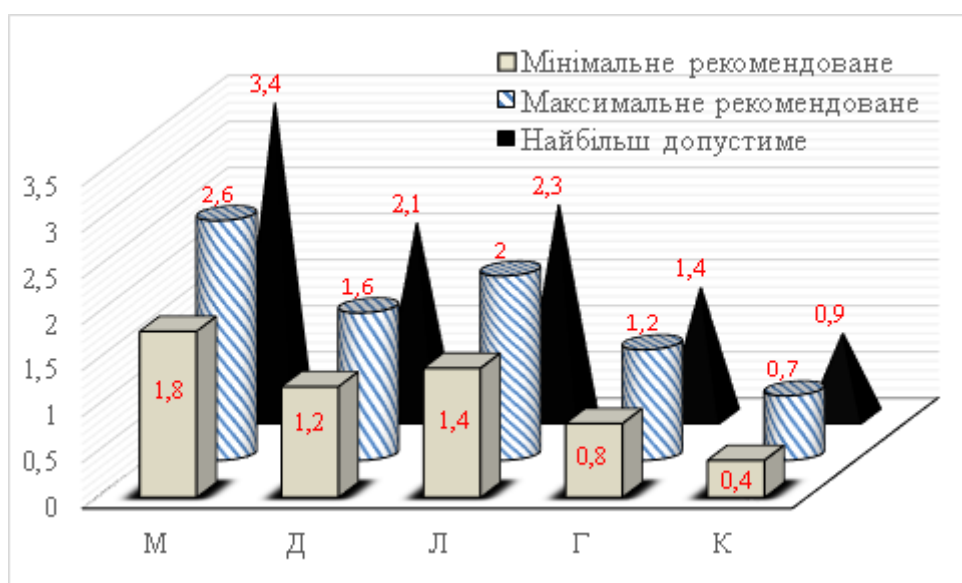


Рисунок 2.3 – Діаграми залежності λ від кривих сили світла світлових приладів

Відомо, що тип кривої сили світла визначається коефіцієнтом форми, а також кутом випромінювання. На рис. 2.4 представлені залежності сили світла в залежності від кута випромінювання для світлових приладів із кривими сили світла типів М, Д, Л, Г, К, побудовані по таблицях кривих сил світла, наведених в [9, 11].

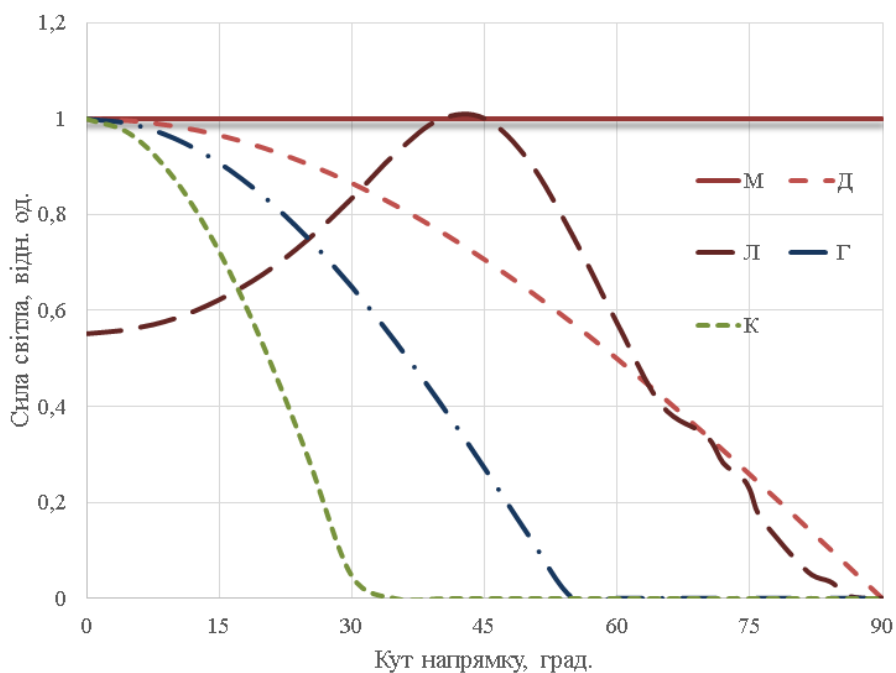


Рисунок 2.4 – Залежності сили світла від кута її напрямку

Для даних кривих сил світла розраховано значення коефіцієнтів їх форми за формулою (2.6), а результати розрахунків представлені в табл. 2.4

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

де I_{\max} – максимальне значення сили світла,

Таблиця 2.4 – Результатів розрахунку коефіцієнтів форми типових кривих сили світла

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

Провівши співставлення між значеннями коефіцієнтів форми, типом кривої сили світла та мінімальним та максимальним рекомендованими значеннями λ , отримаємо графічну залежність відношення відстані між світловими приладами або їх рядами від коефіцієнта форми кривої сили світла, при яких забезпечується необхідна рівномірність розподілу освітленості на горизонтальній робочій поверхні (рис. 2.5), що було представлено в [12].

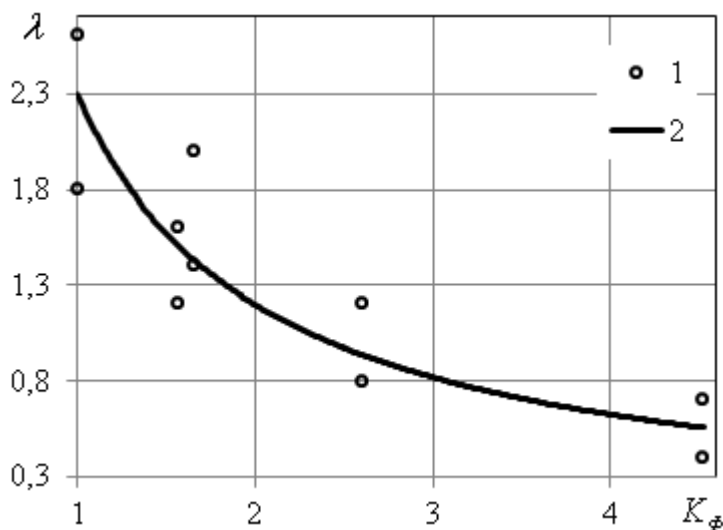


Рисунок 2.5 – Графіки залежностей $\lambda = f(K_\phi)$:

1 – табличні значення; 2 – $\lambda = 2,297 \cdot K_\phi^{-0,93}$

Дану залежність було представлено аналітично шляхом апроксимації з допомогою методу найменших квадратів степеневою функцією, рівняння котрої має вигляд:

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

Для даного рівняння знайдемо коефіцієнт детермінації за формулою [13]:

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

де λ_{Ti} – табличні значення $\lambda = f(K_\phi)$

λ_i – значення, отримані шляхом апроксимації.

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

представлено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку $\sum_{j=1}^{j=n} (\lambda_{Ti} - \lambda_i)^2$, $\frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n} \lambda_{Ti}$, та

$$\sum_{j=1}^{j=n} \left(\lambda_{Ti} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n} \lambda_{Ti} \right)^2$$

K_{ϕ_i}	λ_{Ti}	λ_i	$(\lambda_{Ti} - \lambda_i)^2$	$\left(\lambda_{Ti} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n} \lambda_{Ti} \right)^2$
1,00	1,8	2,3	0,25	0,18
1,00	2,6	2,3	0,09	1,51
1,57	1,2	1,5	0,10	0,03
1,57	1,6	1,5	0,01	0,05
1,66	1,4	1,4	0,00	0,00
1,66	2	1,4	0,32	0,40
2,61	0,8	0,9	0,02	0,32
2,61	1,2	0,9	0,07	0,03
4,53	0,4	0,6	0,03	0,94
4,53	0,7	0,6	0,02	0,45
$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n} \lambda_{Ti}$	1,37			
$\sum_{j=1}^{j=n} (\lambda_{Ti} - \lambda_i)^2$			0,89	
$\sum_{j=1}^{j=n} \left(\lambda_{Ti} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{j=n} \lambda_{Ti} \right)^2$				3,92

Підставляючи результати, наведені в табл. 2.5 у формулу 2.8, отримаємо

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

Для освітлення котельні вибрано світильники типу ДСП65В, модифікації котрих мають три кривих сили світла типу Л, Г та К, криві розподілу котрих представлено на рис. 2.6.

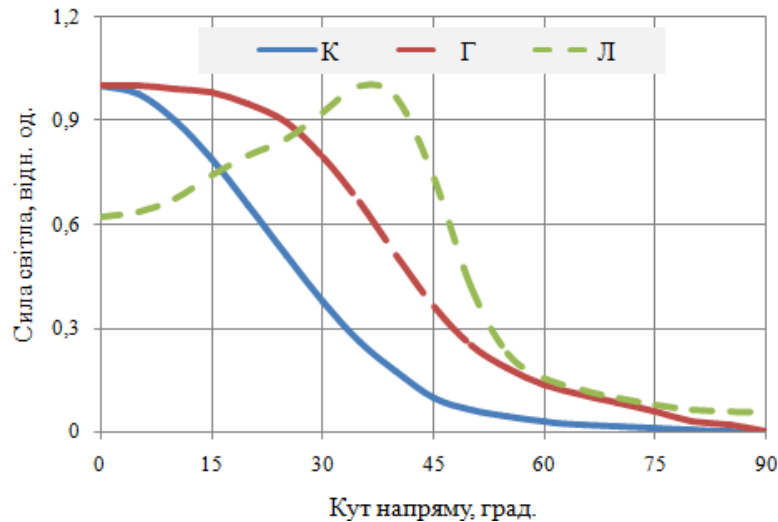


Рисунок 2.6 – Графіки розподілу сили світла світильників типу ДСП65В

Для даних кривих сил світла коефіцієнти форми, розраховані за формулою (2.6), становлять:

для кривої сили світла типу К – $K_{\phi} = 3,31$;

для кривої сили світла типу Г – $K_{\phi} = 2,11$;

для кривої сили світла типу Л – $K_{\phi} = 2,03$.

Підставивши значення K_{ϕ} в рівняння (2.7) розрахуємо значення λ :

для кривої сили світла типу К

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

для кривої сили світла типу Г

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

для кривої сили світла типу Л

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

Враховуючи, що висота встановлення світильників над робочою

поверхнею становить 13 м, відстані між світильниками або їх рядами:

для кривої сили світла типу К

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

для кривої сили світла типу Г

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

для кривої сили світла типу Л

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

Із врахуванням того, що розміри частин приміщення котельні становлять $L_{A1} = 18 \text{ м}$, $L_{B1} = 12 \text{ м}$, $L_{A2} = 18 \text{ м}$, $L_{B2} = 6 \text{ м}$, кількість світильників при заокругленні розрахованого значення до найближчого більшого цілого становить:

для кривої сили світла 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 кривої сили світла 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 кривої сили світла типу Л

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

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

2.3 Розрахунок коефіцієнта корисної дії приміщень

Визначення та розрахунок коефіцієнтів корисної дії для частин 1 та 2 приміщення котельні проведемо на основі даних, приведених в таблиці 11.2, що на стор. 329 [3]. На рис. 2.7 приведено графіки залежності коефіцієнта корисної дії приміщень від їх індексу при освітленні їх світильниками із кривими сили світла типу К, Г, Л. Коефіцієнти відбиття стелі, стін та підлоги приймемо такими, що дорівнюють 0,7, 0,5 та 0,3 відповідно.

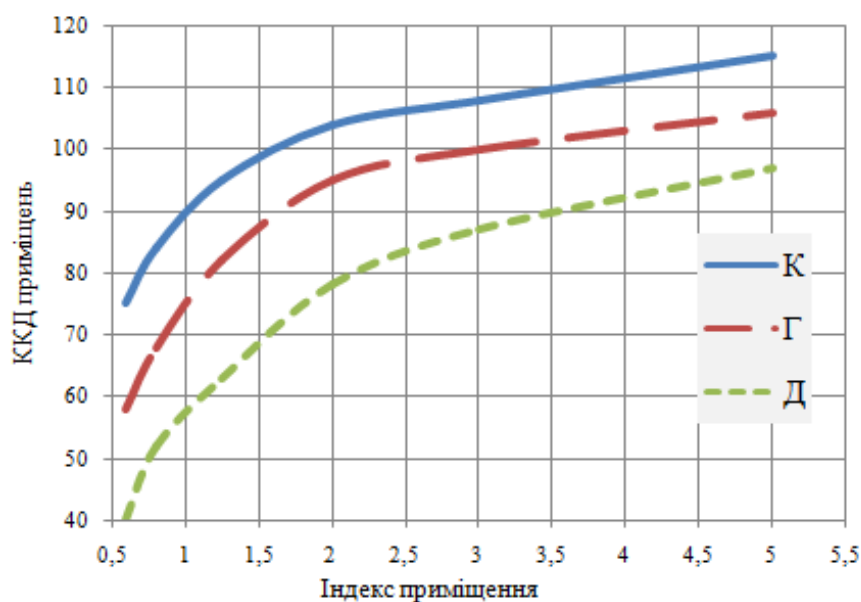


Рисунок 2.7 – Залежність коефіцієнта корисної дії приміщень від індексу

Значення індексів для частин 1 та 2 приміщення котельні становлять 0,55 та 0,31 відповідно. Як видно із рис. 2.7, ці значення виходять за межі діапазону індексу приміщень, для яких наведено ці залежності. Тому для знаходження значень коефіцієнтів корисної дії приміщень, котрі б відповідали саме значенням 0,55 та 0,31 застосуємо метод екстраполяції за допомогою кубічних сплайнів з використанням пакета MATLAB.

Команда для екстраполяції кривої К1, на проміжку і1 кривої К, що задана на проміжку і має вигляд [14]:

```
K1=interp1(i,K,i1,'spline','extrap').
```

Екстраполяцію здійснимо на проміжку i_1 від 0,1 до 0,59 з кроком дискретизації 0,01.

За допомогою даної функції отримано криві залежностей коефіцієнта корисної дії від індексу приміщень, котрі освітлюються світильниками з кривими сили світла типу К, Г та Л, котрі представлені на рис. 2.8

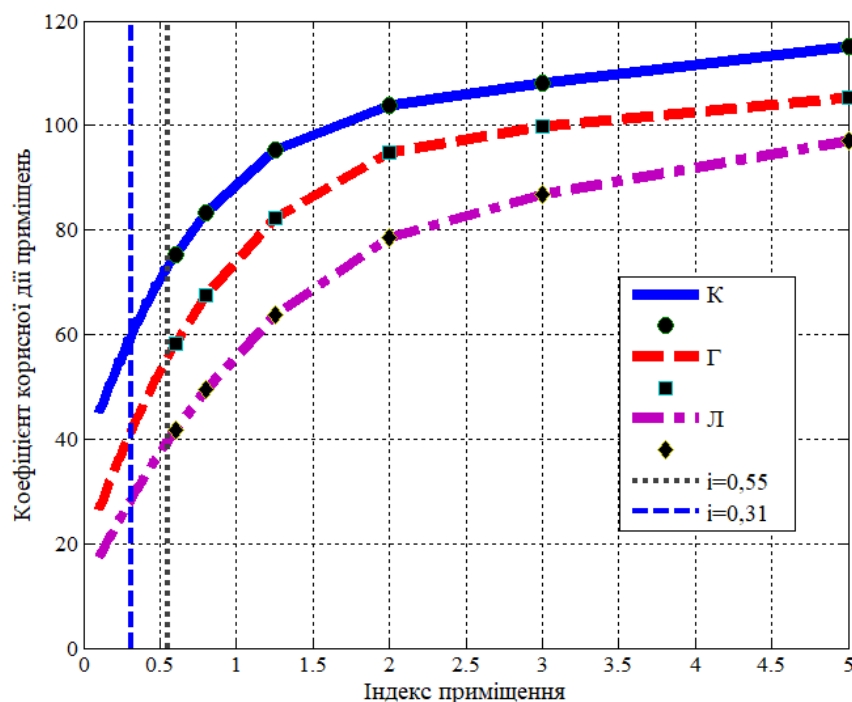


Рисунок 2.8 – Залежності коефіцієнта корисної дії від індексу приміщень, отримані шляхом екстраполяції в пакеті MATLAB

По отриманих кривих визначаємо значення коефіцієнтів корисної дії приміщень, як ординати точок перетину вертикальних прямих, котрі відповідають індексам приміщень 0,55 та 0,31 із ними. Результати розрахунку приведено в табл. 2.6

Таблиця 2.6 – Результати розрахунків коефіцієнтів корисної дії приміщень

Індекси приміщення	Тип кривої сили світла		
	К	Г	Л
$i = 0,55$	73,1	55,9	39,7
$i = 0,31$	59,5	41,4	28,3

2.4. Моделювання та розрахунок освітлювальних установок котельні

Для отримання інформації щодо розподілу освітленості по поверхні підлоги в програмному пакеті DIALux здійснено відповідний світлотехнічний розрахунок.

Вихідні дані до розрахунку:

Коефіцієнт експлуатації – 0,59;

Кількість світильників: ДСП65В-80-211 – 4 шт, ДСП65В-100-211 – 2 шт.;

Висота встановлення світлових приладів – 13,0 м.

В результаті проведеного світлотехнічного розрахунку встановлено, що освітлювальна установка приміщення котельні, котра складається із двох світильників типу ДСП65В-100-211 та чотирьох світильників ДСП65В-80-211 здатна забезпечити наступні характеристики освітлення: середня освітленість – 81 лк; мінімальна освітленість – 42 лк; максимальна освітленість – 111 лк; відношення мінімальної освітленості до середньої – 0,522.

Лінії однакової освітленості та графік розподілу її значень по підлозі представлено на рис. 2.9 та 2.10.

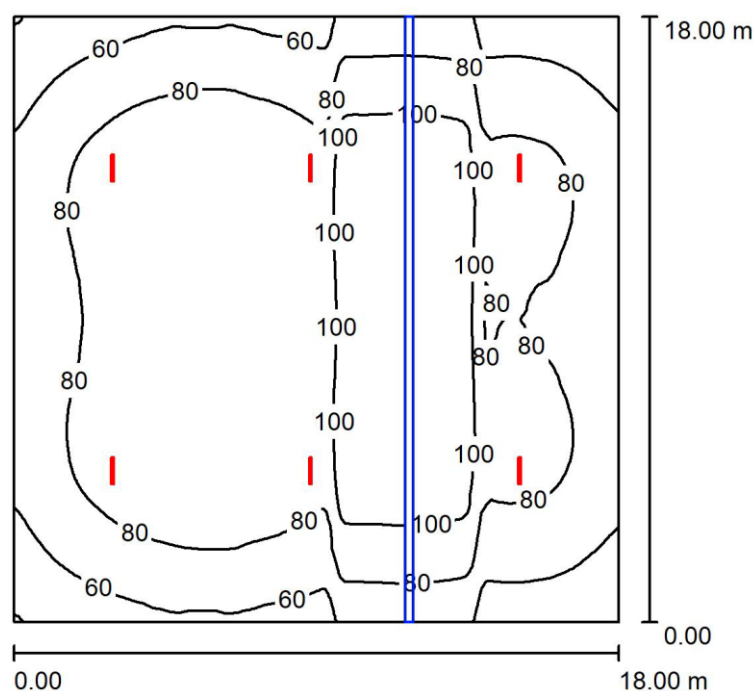


Рисунок 2.9 – Лінії однакової освітленості, створюваної на підлозі котельні

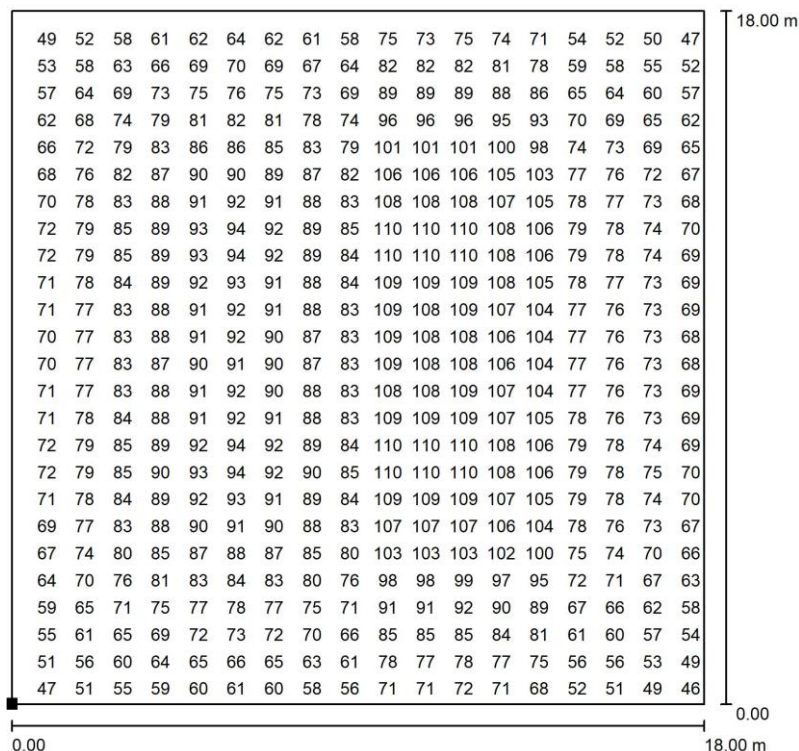


Рисунок 2.10 – Графік розподілу значень освітленості по підлозі котельні

Співставляючи ці характеристики із нормативними, можна прийти до висновку, що дана освітлювальна установка повністю відповідає вимогам.

Проте в котельних приміщеннях встановлюється обладнання, котре може затіняти робочі поверхні. Крім того необхідно з'ясувати, чи будуть забезпечуватись нормовані характеристики освітлення на проходах, розміщеними на різних висотах.

З цією метою в пакеті DIALux EVO було створено тривимірну віртуальну модель приміщення котельні із врахуванням та розміщенням котельного обладнання, трубопроводів та проходів. Зображення приміщення в середовищі програми DIALux EVO показано на рис. 2.11.

Об'єктами для подальших розрахунків є наступні поверхні:

- 1 – поверхня підлоги на відмітці 0,0 м;
- 2 – поверхня проходу біля котельного обладнання на відмітці 3,0 м;
- 3 – поверхня проходу на відмітці 6,1 м;
- 4 – поверхня проходу на відмітці 9,0 м, частина приміщення 1;
- 5 – поверхня проходу на відмітці 6,6 м;

б – поверхня проходу на відмітці 9,0 м, частина приміщення 2.

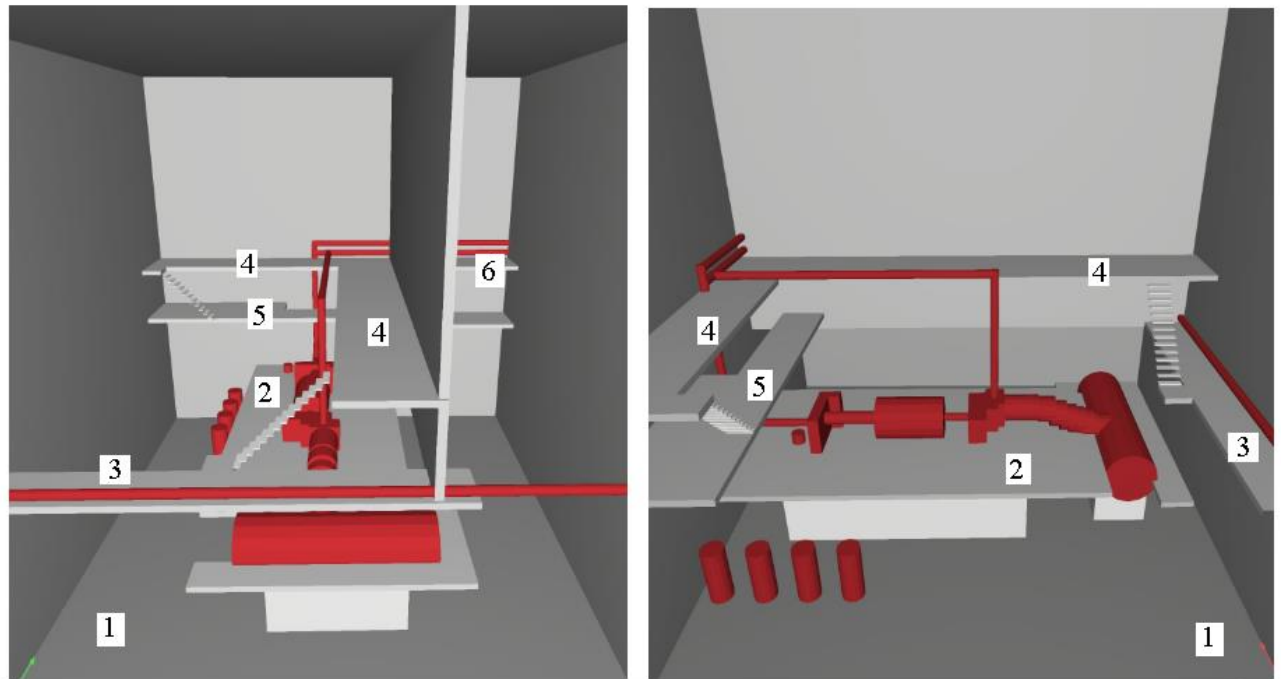


Рисунок 2.11 – Зображення приміщення в середовищі програми DIALux EVO з позначенням розрахункових об'єктів

Результати розрахунків приміщення котельні із використанням пакету DIALuxEVO представлено в проектно-конструкторському розділі роботи.

2.5 Висновки до розділу

1. На підставі аналізу здійснено вибір методів світлотехнічного розрахунку. Для розрахунку світлотехнічної установки котельні вибрано метод коефіцієнта використання світлового потоку та метод випромінюваності, котрий є основою для розрахунків в пакетах DIALux та DIALux EVO.

2. На основі залежностей відношення відстані між світловими приладами або їх рядами до висоти їх установки над робочою поверхнею від коефіцієнта форми кривої сили світла розраховано кількість світлових приладів типу ДСП65В різних модифікацій щодо кривої сили світла в системі освітлення котельні.

3. В результаті розрахунку, виконаного на основі екстраполяції залежностей коефіцієнта корисної дії приміщень від індексів для кривих сил світла світлових приладів типу К, Г та М, встановлено, що коефіцієнт корисної дії частин приміщення котельні з індексами 0,55 та 0,31 становить в межах від 73,1 до 39,7 % та від 59,5 до 28,3 % відповідно.

4. Проведено моделювання та світлотехнічний розрахунок освітлювальної установки загального освітлення котельного приміщення в пакеті DIALux без врахування затінення робочої поверхні. В результаті встановлено, що освітлювальна установка, котра складається із двох світильників типу ДСП65В-100-211 та чотирьох світильників ДСП65В-100-211 здатна забезпечити середню освітленість на поверхні підлоги 81 лк, що відповідає державним будівельним вимогам щодо нормованої освітленості. З метою врахування затінення в пакеті DIALux EVO створено тривимірну віртуальну модель приміщення із встановленим в ньому обладнанням.

ЗПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Основні характеристики котельного приміщення

Об'єктом для проектування та світлотехнічного розрахунку систем освітлення є приміщення котельні ПРАТ «Запорізький олійно-екстракційний завод», розміщене за адресою вул. Харчова 3, м. Запоріжжя. Дана котельня використовується для генерування пару котрий використовується для технологічних цілей, а його конденсат – для опалення приміщень заводу.

Приміщення котельні являє собою криту споруду розмірами 18×18 м², та висотою 18 м. Загальний план приміщення котельні на рівні 0,0 м представлено в графічній частині роботи. Вертикальні перерізи приміщення котельні представлено на рис. 3.1.

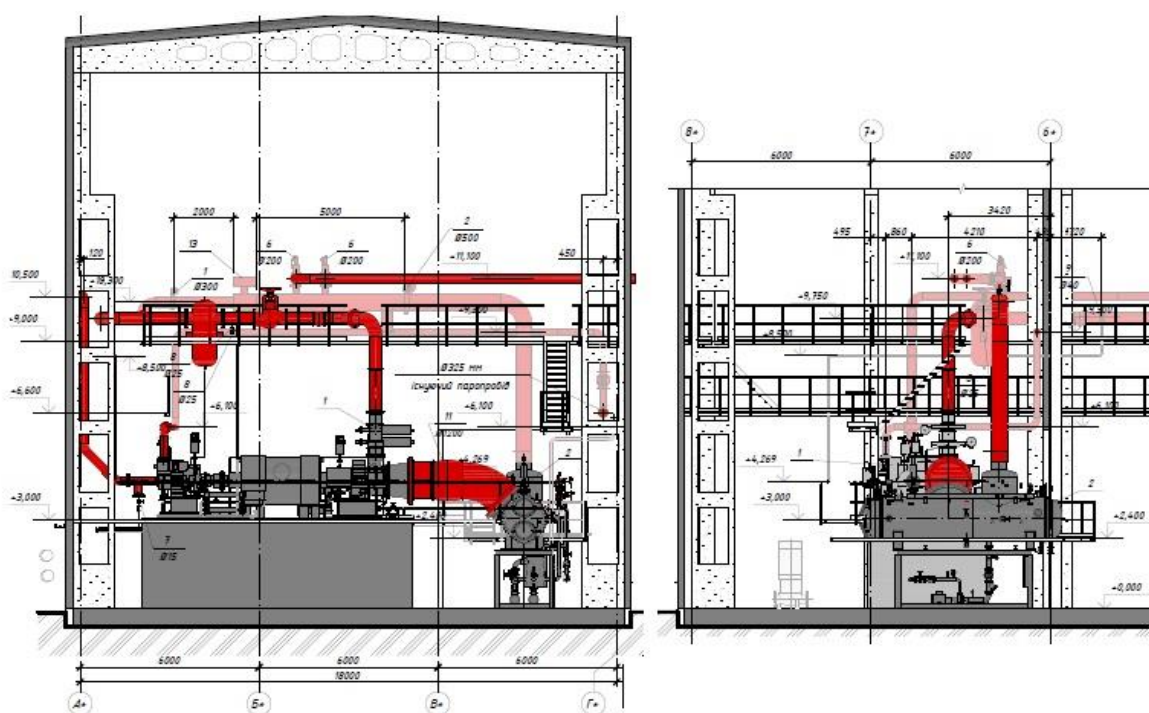


Рисунок 3.1 – Вертикальні перерізи приміщення котельні

За допомогою бетонної перегородки із відкритою нижньою частиною приміщення котельні поділяється на дві частини, розмірами 18×12 м², та 18×6 м². Проходи котельні над технологічним обладнанням знаходяться на висоті 3,

6,1, 9,0, та 6,6 м.

3.2 Вибір світлових приладів для системи освітлення приміщення котельні

Для системи загального освітлення приміщень котельні зупинимо свій вибір на світлодіодних світильниках типу ДСП65В (рис. 3.2) [15], основним призначенням котрих є освітлення приміщень виробничого, комерційного, складського та іншого призначення пожежонебезпечних зон класу П-І та П-ІІ.



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд світильника ДСП65В

Крім того використання світильників допускається у вибухонебезпечній зоні класу 22. Характеристики світильника представлено в табл. 3.1

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики світильників ДСП65В

Потужність, Вт	25 ... 100
Світловий потік, лм	3375 ... 13500
Світлова віддача, лм/Вт	135
Тип КСС (кут розсіювання, °)	К (60), Г (90), Л (120)
Корельована колірна температура, К	4000
Коефіцієнт активної потужності	0,95
Ступінь пиловологозахисту	IP65
Клас електрозахисту	I

Для освітлення проходів згідно із ДБН В.2.5-77:2014 [1] для котелень, які працюють на газоподібному паливі, передбачається застосування світильників, котрі можуть застосовуватись у вибухонебезпечних зонах класу 2 і вибухонебезпечної суміші категорії ПА та температурного класу Т1.

Саме тому зупиняємо свій вибір на світильниках типу ДСП19ВEx (рис.

3.3) [16], котрий володіє наступними характеристиками:

діапазон потужностей – від 10 до 35 Вт;

маркування щодо вибухозахисту – II 2G Exdbeeopis IIВ Т6 Gb

II 2D Extbopis IIIС Т80°С Db

діапазон світлового потоку – від 1250 до 4100 лм;

світловіддача – від 117 до 125 лм/Вт;

тип кривої сили світла – М, Д;

корельована колірна температура – 4000 (в межах від 3800 до 4200) К;

коефіцієнт активної потужності – 0,95;

ступінь пиловологозахисту – IP65;

клас електрозахисту – I.

Варто звернути увагу, що згідно із маркуванням щодо вибухозахисту, світильник ДСП19ВEx може використовуватись в середовищі із групою газів IIВ, котра включає в себе підгрупи IIА та IIВ. Температурний клас світлового приладу становить Т6, а це означає, що під час роботи його поверхня нагрівається до температури, котра не перевищує 80 °С, тоді як максимальна температура температурного класу Т1 становить 450 °С.

В якості світлових показників використаємо аварійні вибухозахищені світильники типу ДБП59В2Ex, зображення та технічні характеристики якого представлено відповідно на рис. 3.3 та в табл. 3.2 [17].



Рисунок 3.3 –Зображення аварійного вибухозахищеного показника ДБП59В2Ex

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики аварійного вибухозахищеного показника ДБП59В2Ex

Потужність, Вт	3
Світловий потік, лм	345
Світлова віддача, лм/Вт	115
Тип КСС (кут розсіювання)	Д
Корельована колірна температура, К	4000
Час роботи в аварійному режимі, год	не менше 3
Коефіцієнт активної потужності	0,95
Ступінь пиловологозахисту	IP54
Клас електрозахисту	I

3.3 Розрахунок коефіцієнта запасу

При здійсненні світлотехнічних розрахунків необхідним є врахування зниження світлового потоку світлових приладів внаслідок деградації кристалів світлодіодів та забруднення світильників. В результаті цього освітленість на робочій поверхні може знижуватись нижче за допустимі значення.

Для забезпечення збереження на робочій поверхні рівня нормованої освітленості наприкінці терміну експлуатації світлових приладів чи перед черговим чищенням світлових приладів при виконанні світлотехнічних розрахунків використовують коефіцієнт запасу, котрий визначається відношенням світлового потоку світлового приладу на початку до світлового потоку наприкінці експлуатації чи перед черговим чищенням.

В європейських практиках проектування та світлотехнічного розрахунку використовується коефіцієнт експлуатації MF (Maintenance Factor), значення якого є оберненим до значення коефіцієнта запасу. Згідно методики розрахунку, наведеної в [2], коефіцієнт експлуатації розраховується за формулою:

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

де $LLMF$ – коефіцієнт, який враховує зниження світлового потоку в світловому приладі;

LSF – коефіцієнт, котрий враховує частину світлових приладів від їх загальної кількості, котрі не припинять свою роботу в даних умовах;

LMF – коефіцієнт експлуатації світильника даного типу;

$RSMF$ – коефіцієнт експлуатації поверхонь, котрі утворюють освітлювальний простір приміщення.

Згідно таблиці В4, що на стор. 61 [2] для кількості годин роботи світильників такої, що дорівнює 50000 вибираємо $LLMF = 0,85$, $LSF = 1$. Відповідно до табл. В1, що на стор. 58 присвоюємо для приміщення котельні клас чистоти D, а періодичність чищення світлових приладів – 2 роки.

По табл. В6 вибираємо значення коефіцієнта експлуатації поверхонь:
 $RSMF = 0,86$, $LMF = 0,81$.

Підставивши значення для коефіцієнтів $LLMF$, LSF , LMF , $RSMF$ у формулу (3.1), отримаємо:

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

Звідси коефіцієнт запасу для приміщення котельні:

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

3.4 Світлотехнічний розрахунок системи освітлення за допомогою методу коефіцієнта використання

Згідно із методом коефіцієнта використання середня E освітленість на робочій поверхні визначається за формулою [7 - 9]:

$$E = \frac{N\Phi U}{Szk}, \quad (3.2)$$

де N – кількість світлових приладів у приміщенні, для яких ведеться розрахунок;

Φ – світловий потік одного світлового приладу;

U – коефіцієнт використання світлового потоку;

S – освітлювальна площа приміщення;

z – коефіцієнт мінімальної освітленості;

k – коефіцієнт запасу.

Звідси світловий потік одного світлового приладу:

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

Коефіцієнт використання світлового потоку визначимо, виходячи із формули [7]:

$$U = \eta_{СП} \cdot \eta_{П}, \quad (3.4)$$

де $\eta_{СП}$ – світловий коефіцієнт корисної дії світлового приладу;

$\eta_{П}$ – коефіцієнт корисної дії приміщення.

Враховуючи, що в каталожних даних [15] на світильник ДСП65В вказані значення світлових потоків вже самого світлового приладу, то можна прийняти, що $U = \eta_{П}$, і дорівнює значенням, наведеним в табл. 2.6.

Підставивши в (3.3) значення для освітленості, площі частин котельного приміщення, коефіцієнтів запасу, мінімальної освітленості та використання, і врахувавши кількість світлових приладів, отриману в п. 2.2 Розрахунково-дослідницького розділу, отримаємо розрахункові значення світлового потоку світильників:

- для освітлення частин котельного приміщення світловими приладами з кривою сили світла 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 котельного приміщення світловими приладами з кривою сили світла 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 котельного приміщення світловими приладами з кривою сили світла типу Г:

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

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

По результатах розрахунку визначимо світловий потік та потужність світлових приладів ДСП65В на основі каталожних даних. При виборі будемо дотримуватись умови, щоб різниця між розрахунковим світловим потоком та світловим потоком вибраного приладу не перевищувала -10 ... +20 %.

Для освітлення частини 1 приміщення котельні при освітленні світловими приладами ДСП65В з кривою сили світла типу К виберемо потужність світлового приладу ДСП65В 80 Вт. Світловий потік для такої потужності становить 10800 лм, а різниця від розрахункового

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

що допустимо.

Для освітлення частини 2 виберемо потужність світильника 100 Вт. Світловий потік для такої потужності становить 13500. Різниця від розрахункового:

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

Для освітлення приміщення котельні потужності світлових приладів ДСП65В з кривими сили світла типу Г та Л вибрати неможливо, оскільки розрахункові значення світлового потоку суттєво перевищують дані, вказані в каталозі. Тому для забезпечення нормованого значення освітленості необхідно збільшувати кількість світлових приладів потужністю 100 Вт та світловим потоком 13500 лм.

Кількість світлових приладів знайдемо, виходячи із формули (3.2):

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

Результати розрахунку представлені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати світлотехнічного розрахунку освітлювальної установки приміщення котельні за методом коефіцієнта використання

Тип КСС	Частина приміщення котельні	Тип світлового приладу	Потужність світлового приладу, Вт	Світловий потік, лм	Кількість світлових приладів	Потужність освітлювальної установки, кВт
К	1	ДСП65В-80-211 У2	80	10800	4	0,52
	2	ДСП65В-100-211 У2	100	13500	2	
Г	1	ДСП65В-100-211 У2	100	13500	4	0,70
	2	ДСП65В-100-211 У2	100	13500	3	
Л	1	ДСП65В-100-211 У2	100	13500	6	1,00
	2	ДСП65В-100-211 У2	100	13500	4	

Як бачимо із результатів розрахунку, приведених в табл. 3.3 найбільш енергоощадною буде освітлювальна установка, світловими приладами в якій є світильники із кривою сили світла типу К. Тому її приймаємо для наших подальших розрахунків.

3.5 Світлотехнічний розрахунок освітлювальної установки приміщення котельні із використанням пакету DIALux EVO

Для світлотехнічного розрахунку в пакеті DIALux EVO використаємо тривимірну віртуальну модель приміщення котельні, котру описано в п. 2.4 Розрахунково-дослідницького розділу. Вихідні дані до розрахунку є аналогічними з даними, описаними в п. 2.4.

Шляхом світлотехнічного розрахунку системи освітлення, котра складається із чотирьох світильників ДСП65В-80-211 та двох світильників ДСП65В-100-211 отримано наступні значення середньої освітленості:

- 1 – поверхня підлоги на відмітці 0,0 м – 35,6 лк;
- 2 – поверхня проходу біля котельного обладнання на відмітці 3,0 м – 43,4 лк;
- 3 – поверхня проходу на відмітці 6,1 м – 28,1 лк;
- 4 – поверхня проходу на відмітці 9,0 м, частина приміщення 1 – 101,0 лк;
- 5 – поверхня проходу на відмітці 6,6 м – 42,9 лк;
- 6 – поверхня проходу на відмітці 9,0 м – 29,6 лк, частина приміщення 2.

Як видно із результатів розрахунку нормоване значення середньої освітленості на рівні 75 лк забезпечується лише на поверхні проходу на відмітці 9,0 м частини приміщення 1.

Для решти розрахункових поверхонь рівень освітленості не забезпечується в зв'язку із їх взаємозатіненням. Тому для забезпечення рівня нормованої освітленості на розрахункових поверхнях потрібно збільшувати кількість та потужність освітлювальних приладів. З цією метою проведено світлотехнічний розрахунок систем освітлення приміщення котельні при різних кількостях та потужностях світлових приладів. Результати розрахунку приведено в табл. 3.4.

Як видно із результатів, нормоване значення середньої освітленості 75 лк на усіх розрахункових поверхнях від системи загального освітлення можуть забезпечити варіанти освітлювальних установок 5 та 9, встановлені потужності яких дорівнюють 1,200 кВт. Подальше збільшення кількості світлових приладів та їх потужності немає змісту, оскільки це може призвести до засліплення персоналу, працюючого в котельні.

Для зниження рівня споживання електроенергії освітлювальною установкою пропонується варіант освітлення 1 доповнити світильниками, розміщеними над розрахунковими поверхнями або в близькості до них. Розміщення світлових приладів ДСП19Вех для додаткового підсвічування

розрахункових поверхонь показано на тривимірній віртуальній моделі на рис. 3.4 та на плані приміщень (графічна частина роботи).

Таблиця 3.4 – Результати світлотехнічного розрахунку систем освітлення котельні на основі світильників ДСП65В

№ варіанту освітлення	Потужність світлових приладів, Вт		Кількість рядів×кількість світильників		Потужність освітлювальної установки, кВт	Розраховані значення середньої освітленості на поверхнях об'єктів розрахунку, лк						Відповідність нормативним вимогам (так/ні)
			Частина 1	Части на 2		1	2	3	4	5	6	
1	80	2×2			0,520	35,6	43,4	28,1	101,0	42,9	25,6	ні
	100		1×2									
2	80	3×2			0,680	44,1	63,7	42,0	159,0	64,9	25,6	ні
	100		1×2									
3	80	2×3			0,720	53,2	63,8	57,6	192,0	59,4	130,0	ні
	80		1×3									
4	80	3×3			0,960	65,5	91,5	87,7	289,0	89,6	130,0	ні
	80		1×3									
5	80	3×4			1,200	75,7	119	121,0	390,0	84,9	130,0	так
	80		1×3									
6	100	2×2			0,600	44,5	54,6	35,2	127,0	53,7	32,6	ні
	100		1×2									
7	100	3×2			0,800	55,1	80,2	52,7	199,0	81,4	32,6	ні
	100		1×2									
8	100	2×3			0,900	66,3	79,6	72,0	240,0	72,9	164,0	ні
	100		1×3									
9	100	3×3			1,200	81,6	114	110,0	361,0	110,0	164,0	так

Шляхом підбору та повторних розрахунків було встановлено кількості та потужності світильників додаткового світла. Для забезпечення рівнів нормованої освітленості 75 лк на поверхнях об'єктів розрахунку необхідно використати:

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

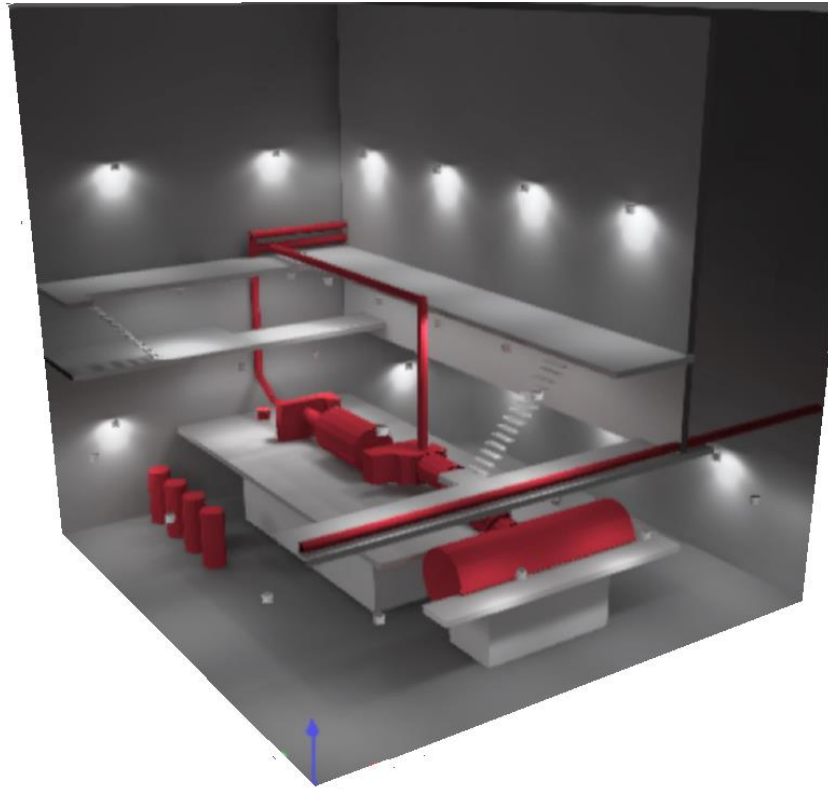


Рисунок 3.4 – Візуалізація розміщення додаткових світильників типу ДСП19Вех в приміщенні котельні

В результаті виконання розрахунків системи освітлення, котра складається із світильників типу ДСП65В та ДСП19УЕх, отримали наступні значення освітленості:

- 1 – поверхня підлоги на відмітці 0,0 м – 109 лк;
- 2 – поверхня проходу біля котельного обладнання на відмітці 3,0 м – 109 лк;
- 3 – поверхня проходу на відмітці 6,1 м – 107 лк;
- 4 – поверхня проходу на відмітці 9,0 м, частина приміщення 1 – 153 лк;
- 5 – поверхня проходу на відмітці 6,6 м – 126 лк;

6 – поверхня проходу на відмітці 9,0 м – 94,2 лк, частина приміщення 2.

Оскільки розрахункові значення освітленості суттєво перевищують нормовані, замінимо світильники загального на світильники із меншою потужністю.

В результаті прямої заміни світильників потужністю 80 Вт на світильники потужністю 60 Вт після світлотехнічного розрахунку отримуємо наступні значення освітленості:

1 – поверхня підлоги на відмітці 0,0 м – 78,5 лк;

2 – поверхня проходу біля котельного обладнання на відмітці 3,0 м – 75,2 лк;

3 – поверхня проходу на відмітці 6,1 м – 80,8 лк;

4 – поверхня проходу на відмітці 9,0 м, частина приміщення 1 – 87,1 лк;

5 – поверхня проходу на відмітці 6,6 м – 88,7 лк;

6 – поверхня проходу на відмітці 9,0 м – 72,6 лк, частина приміщення 2.

Як бачимо з результатів розрахунку дана освітлювальна установка повністю задовільняє вимогам державних будівельних норм щодо освітленості. На рис. 3.5 представлено візуалізацію розподілу освітленості на поверхнях об'єктів розрахунків та інших поверхнях приміщення. Більш детальнішу візуалізацію на поверхнях об'єктів розрахунку представлено в графічній частині роботи.

3.6 Система освітлення котельні із використанням газорозрядних ламп

З метою проведення порівняння та оцінки енергоефективності застосування світлових приладів на основі напівпровідникових джерел світла розрахуємо потужність освітлювальної установки із використанням газорозрядних джерел світла, в якості котрих виберемо найбільш близькі за світловою віддачею та корельованою колірною температурою газорозрядні лампи типів ДРЛ та МГЛ. При цьому будемо домагатися, щоб освітлювальна

установка на основі газорозрядних джерел світла створювала практично аналогічні умови освітлення, що і освітлювальна система на основі світильників ДСП65В та ДСП18УЕх. Це можна досягти, виходячи із наступного:

1) світлові рилади на основі газорозрядних ламп мають бути встановленні в аналогічні місця, що і світлодіодні;

2) світловий потік світильників із газорозрядними лампами повинен бути максимально близьким до світлового потоку напівпровідникових світлових приладів.

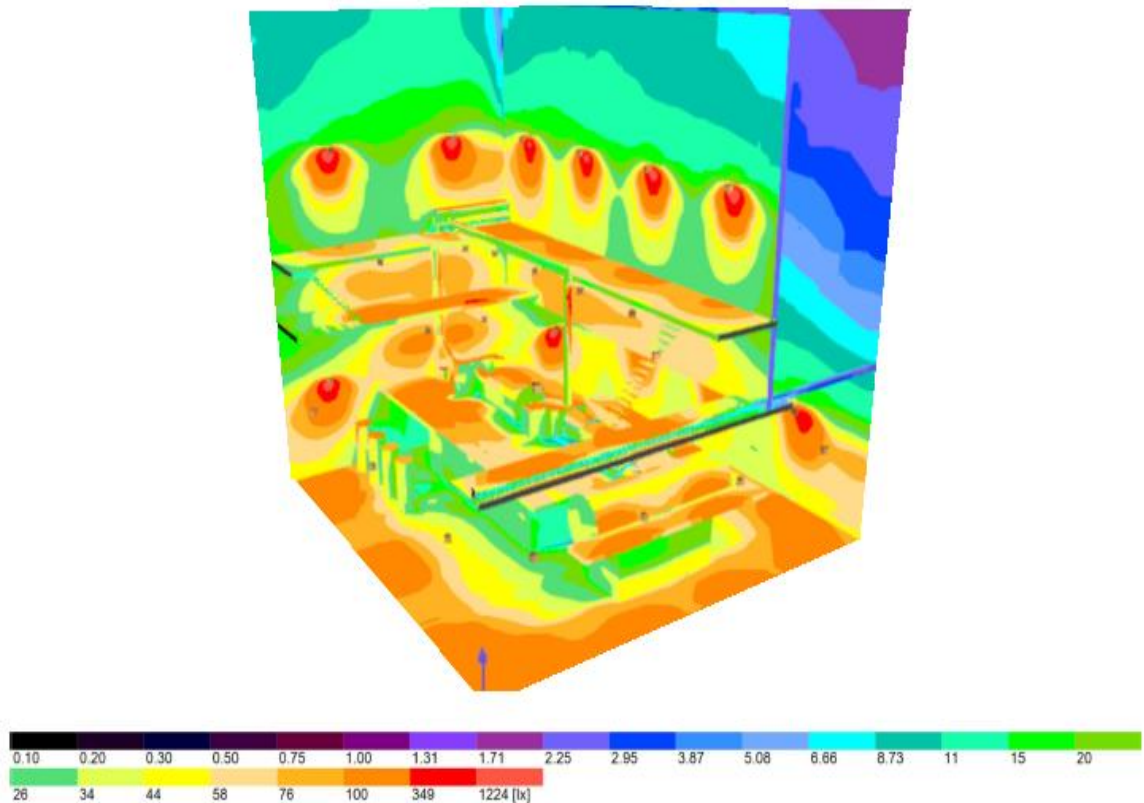


Рисунок 3.5 – Візуалізація розподілу освітленості на поверхнях приміщення котельні

Для загального освітлення виберемо світильники типу ГСП20 (рис. 3.6), технічні характеристики якого представлено в табл. 3.5 [18].

Для визначення потужності джерел світла світильника ГСП20 запишемо

формулу (3.2) для випадків розрахунку освітленості від світильників ДСП65В та ГСП20 із врахуванням того, що кількість світлових приладів, коефіцієнт мінімальної освітленості та площа приміщення є однакові для двох варіантів освітлення:

$$E = \frac{N \cdot \Phi_{\text{ДСП65В}} \cdot U_{\text{ДСП65В}}}{S \cdot z \cdot k_{\text{ДСП65В}}}, \quad (3.6)$$

$$E = \frac{N \cdot \Phi_{\text{ГСП20}} \cdot U_{\text{ГСП20}}}{S \cdot z \cdot k_{\text{ГСП20}}}. \quad (3.7)$$

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики світильників ГСП20

Потужність, Вт	250, 400
Коефіцієнт корисної дії, %	70
Тип лампи	МГЛ, ДРЛ, Е40
Тип КСС (кут розсіювання, °)	К (60), Г (90), Д (120)
Коефіцієнт активної потужності	0,85
Ступінь пиловологозахисту	IP65
Клас електрозахисту	I



Рисунок 3.6 Зовнішній вигляд світильника

Прирівнявши праві частин рівнянь (3.6) та (3.7), отримаємо:

$$\frac{N \cdot \Phi_{\text{ГСП20}} \cdot U_{\text{ГСП20}}}{S \cdot z \cdot k_{\text{ГСП20}}} = \frac{N \cdot \Phi_{\text{ДСП65В}} \cdot U_{\text{ДСП65В}}}{S \cdot z \cdot k_{\text{ДСП65В}}},$$

$$\frac{\Phi_{\text{ГСП20}} \cdot U_{\text{ГСП20}}}{k_{\text{ГСП20}}} = \frac{\Phi_{\text{ДСП65В}} \cdot U_{\text{ДСП65В}}}{k_{\text{ДСП65В}}}. \quad (3.8)$$

Коефіцієнт використання для світильника ГСП 20 виразимо як

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

де $\eta_{ГСП20}$ – коефіцієнт корисної дії світильника ГСП20.

Враховуючи, що коефіцієнт корисної дії приміщення для двох варіантів буде однаковим, оскільки використовуються світильники із одним типом кривої сили світла, а коефіцієнт корисної дії світлодіодного світильника дорівнює одиниці, підставляючи формулу 3.9 у формулу (3.8), отримаємо:

$$\frac{\Phi_{ГСП20} \cdot \eta_{ГСП} \cdot \eta_{П}}{k_{ГСП20}} = \frac{\Phi_{ДСП65В} \cdot \eta_{П}}{k_{ДСП65В}},$$

$$\frac{\Phi_{ГСП20} \cdot \eta_{ГСП}}{k_{ГСП20}} = \frac{\Phi_{ДСП65В}}{k_{ДСП65В}},$$

звідки

$$\Phi_{ГСП20} = \frac{\Phi_{ДСП65В}}{\eta_{ГСП}} \frac{k_{ГСП20}}{k_{ДСП65В}} = \frac{\Phi_{ДСП65В}}{\eta_{ГСП}} \frac{MF_{ДСП65В}}{MF_{ГСП20}}. \quad (3.10)$$

Згідно таблиць В1, В4 та В6 [2] для світильників із газорозрядними лампами типу МГЛ $LLMF = 0,63$, $LSF = 0,73$, а для світильників із лампами ДРЛ - $LLMF = 0,78$, $LSF = 0,79$. Значення коефіцієнта експлуатації поверхонь та світильника становлять відповідно: $RSMF = 0,86$, $LMF = 0,81$. Підставляючи вищевказані значення коефіцієнтів у формулу (3.1), отримаємо значення коефіцієнта запасу при використанні ламп типу МГЛ:

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

а для ламп ДРЛ

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

Підставивши значення коефіцієнта експлуатації у формулу (3.10), отримаємо значення світлового потоку

ламп МГЛ

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

а для ламп ДРЛ

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

По розрахованих значеннях світлового потоку вибираємо наступні лампи:
МГЛ – НСІ-ТТ 150/WDLPB, світловий потік якої становить 14500 лм, а потужність - 150 Вт [3];

ДРЛ – ДРЛ250 світловий потік якої становить 13500 лм, а потужність - 250 Вт.

Оскільки потужність ламп МГЛ є нижчою, то для подальших розрахунків вибираємо саме цей тип.

Потужність ламп для світильників, які освітлюють проходи визначаємо аналогічно. В якості світильників для освітлення проходів виберемо вибухозахищені світильники типу ГСП/РСП18ВЕх [19] з коефіцієнтом корисної дії 75 %, коефіцієнтом активної потужності 0,9.

Світловий потік аналогів ГСП/РСП18ВЕх світильника ДСП19УЕх-35-001 становить:

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

світильників ДСП19УЕх-22-001

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

світильників ДСП19УЕх-16-001

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

світильників ДСП19УЕх-12-001

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

По отриманих значеннях світлового потоку вибираємо тип та потужність ламп для світильників-аналогів (таблиця 3.6).

Таблиця 3.6 – Світильники-аналоги з газорозрядними лампами

Тип світлодіодного світлового риладу	Аналог	Тип лампи	Світловий потік лампи, лм	Потужність лампи, Вт
ДСП19УЕх-12-001	ГСП18Вех	ДРЛ80	3800	80
ДСП19УЕх-16-001	ГСП18Вех	ДРЛ80	3800	80
ДСП19УЕх-22-001	РСП18Вех	ДРИ125	5300	125
ДСП19УЕх-35-001	РСП18Вех	HQI-E 150/WDL	12000	150

В результаті світлотехнічного розрахунку отримано наступні результати для системи освітлення на основі світильників із газорозрядними лампами

- 1 – поверхня підлоги на відмітці 0,0 м – 77,4 лк;
- 2 – поверхня проходу біля котельного обладнання на відмітці 3,0 м – 76,7 лк;
- 3 – поверхня проходу на відмітці 6,1 м – 74 лк;
- 4 – поверхня проходу на відмітці 9,0 м, частина приміщення 1 – 102,0 лк;
- 5 – поверхня проходу на відмітці 6,6 м – 73,5 лк;
- 6 – поверхня проходу на відмітці 9,0 м – 74 лк, частина приміщення 2.

Візуалізація розподілу освітленості по поверхнях приміщення показана на

рис. 3.7

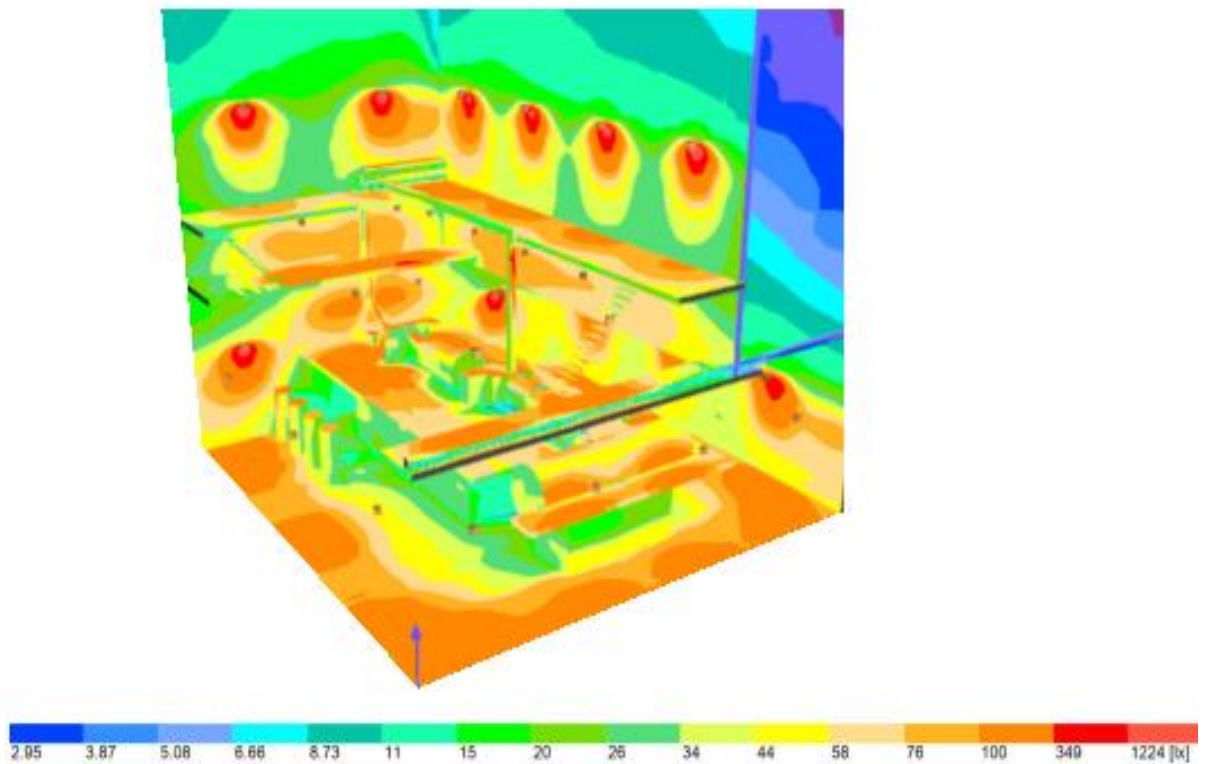


Рисунок 3.7 – Візуалізація розподілу освітленості по поверхнях приміщення котельні, освітленої світильниками із газорозрядними лампами

Як видно із результатів розрахунку така система освітлення забезпечує виконання нормативних вимог щодо освітленості.

3.7 Порівняння варіантів освітлення приміщення котельні

З метою порівняння варіантів освітлення котельні розрахуємо потужності освітлювальних установок для трьох випадків:

1. Освітленість на робочих поверхнях забезпечується лише світильниками типу ДСП656В. Потужність такої освітлювальної установки становить 1,2 кВт.

2. Освітленість робочих поверхонь створюється світильниками із газорозрядними лампами. Потужність такої освітлювальної установки

становить із врахуванням 10 % втрат в ПРА:

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

3. Освітленість на робочих поверхнях створюється світильниками ДСП65В та ДСП19ВЕХ. Потужність освітлювальної установки становить:

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

Як бачимо із результатів розрахунків застосування світлодіодних світильників дозволяє суттєво потужність освітлювальної установки. Причому навіть при використанні одних лише світлових приладів для загального освітлення встановлена споживана потужність є на 2,485 кВт нижчою, ніж для освітлювальної установки із газорозрядними лампами. Застосування в системі освітлення світлових приладів ДСП65В та ДСП19ВЕХ дозволяє знизити потужність освітлювальної установки до 0,882 кВт, або на 26,5 % в порівнянні із системою, в котрій застосовуються лише одні світлові прилади типу ДСП65В.

3.8 Розрахунок аварійного освітлення

Аварійне освітлення приміщення котельні передбачимо світильниками ДСП65В, котрі і використовуються в системі загального робочого освітлення. Оскільки аварійне освітлення котельні відноситься до першої категорії споживачів за надійністю електропостачання, то живлення світильників аварійного освітлення передбачимо від окремого джерела. Крім того використаємо світильники із вмонтованими акумулюючими батареями.

Шляхом виконання світлотехнічного розрахунку отримано наступні результати.

Випадок 1. Приміщення освітлюється лише світильниками ДСП65В, котрі живляться від електромережі:

1 – поверхня підлоги на відмітці 0,0 м – 28,8 лк;

2 – поверхня проходу біля котельного обладнання на відмітці 3,0 м – 35,1 лк;

3 – поверхня проходу на відмітці 6,1 м – 25,7 лк;

4 – поверхня проходу на відмітці 9,0 м, частина приміщення 1 – 82,0 лк;

5 – поверхня проходу на відмітці 6,6 м – 35,2 лк;

6 – поверхня проходу на відмітці 9,0 м – 26,7 лк, частина приміщення 2.

Як видно із результатів розрахунку освітлювальна установка відповідає вимогам щодо аварійного резервного освітлення, освітленість в якому повинна становити третину від освітленості робочого освітлення.

Випадок 2. Приміщення освітлюється лише світильниками ДСП65В, світлодіоди в котрих живляться від акумуляторної батареї, світловий потік світильника ДСП65В в аварійному режимі становить 405:

1 – поверхня підлоги на відмітці 0,0 м – 1,44 лк;

2 – поверхня проходу біля котельного обладнання на відмітці 3,0 м – 1,75 лк;

3 – поверхня проходу на відмітці 6,1 м – 1,14 лк;

4 – поверхня проходу на відмітці 9,0 м, частина приміщення 1 – 4,0 лк;

5 – поверхня проходу на відмітці 6,6 м – 1,76 лк;

6 – поверхня проходу на відмітці 9,0 м – 26,7 лк, частина приміщення 1,03.

По результатах розрахунку видно, що освітлювальна установка системи аварійного евакуаційного освітлення по освітленості відповідає встановленим вимогам, згідно із котрими освітленість повинна становити не менше 1 лк.

3.9 Розрахунок електричної освітлювальної мережі приміщення котельні

Живлення світлових приладів освітлювальної установки котельні передбачимо по групових лініях від двох щитів робочого та аварійного освітлення, розміщених поза межами приміщення котельні. Для ремонтного

освітлення допускається використовувати світильники, які працюють на пониженій напрузі. Тому передбачено використання двох ящиків з понижувальними трансформаторами, потужностями 250 Вт кожен.

Інформацію щодо груп споживачів представлено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Дані по групових мережах

Щит освітлення	Група	Тип світлових приладів/висота установки	Кількість, шт	Потужність, Вт
ЩО	1	ДСП19Вех-22-001/3,5 м	3	219
		ДСП19Вех-35-001/3,5 м	3	
		ДСП19Вех-16-001/3,5 м	3	
	2	ДСП19Вех-22-001/9,0 м	6	200
		ДСП19Вех-22-001/6,5 м	2	
		ДСП19Вех-12-001/9,0 м	2	
	3	ДСП19Вех-12-001/9,0 м	2	103
		ДСП19Вех-35-001/12,5 м	1	
		ДСП19Вех-22-001/12,5 м	2	
4	ЯТП	2	500	
ЩОА	1	ДСП65В-60-211 У2	6	660
	2	Світлові покажчики	4	12

В якості кабелів електричної освітлювальної мережі виберемо мідні кабелі з полівінілхлоридною ізоляцією марки ВВГнг [21].

Розрахунок електричної освітлювальної мережі по втраті напруги виконаємо на прикладі групової лінії із найбільшою потужністю, а саме групи 1 щита ЩОА. Схему для розрахунку показано на рис. 3.8, а інформацію щодо потужності ділянок групової лінії – в табл. 3.8.

Розрахунок електричних освітлювальних мереж по втраті напруги здійснюється на основі формули:

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

де $\sum_{k=1}^{k=n} M_k$ – сума моментів електричних навантажень ділянки електричної освітлювальної мережі;

c – коефіцієнт, котрий для двопровідної мережі із проводами або кабелями з мідними жилами дорівнює 12.

S – площа поперечного перерізу жил кабелів.

$\Delta U \%$ – втрата напруги.

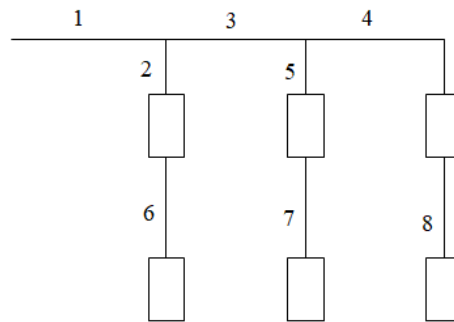


Рисунок 3.8 – Схема для розрахунку групи 1 ЩОА

Для ділянки 1 сума моментів навантажень становить

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

де P, l – відповідно потужність та довжина окремої ділянки.

Підставляючи значення для потужностей та довжин у формулу (3.12), отримаємо

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

Таблиця 3.8 – Вихідні дані та результати електротехнічного розрахунку групи 2 ЩОА

Номер ділянки	Потужність, кВт	Довжина, м	Сума моментів навантаження, кВт·м	Втрата напруги, %	Площа поперечного перерізу, розрахункова, м ²	Табличне значення площі	Реальна втрата напруги, %
1	0,36	30,0	16,56	2,50	0,55	1,5	0,60
2	0,12	4,5	1,08	1,90	0,05	1,5	0,06
3	0,24	6,0	4,68	1,90	0,21	1,5	0,08
4	0,12	13,5	2,16	1,82	0,10	1,5	0,12
5	0,12	4,5	1,08	1,82	0,05	1,5	0,06
6	0,06	9,0	0,54	1,84	0,02	1,5	0,03
7	0,06	9,0	0,54	1,76	0,03	1,5	0,03
8	0,06	9,0	0,54	1,70	0,03	1,5	0,21

Підставивши значення для суми моментів навантаження, а також значення s та $\Delta U\% = 2,5\%$ у формулу 3.11, отримаємо

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

Вибираємо найближче більше за номіналом значення площі поперечного перерізу $S = 2,5 \text{ мм}^2$. Реальна втрата напруги на даній ділянці:

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

Розрахункова втрата напруги для ділянок 2 та 3:

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

Аналогічно проводимо розрахунок і для інших ділянок. Результати доносимо в табл. 3.8.

На підставі даного розрахунку приймаємо площу поперечного перерізу жил кабелів і для інших груп $1,5 \text{ мм}^2$.

Для вибору апаратів захисту розрахуємо значення робочих струмів основних ділянок групових ліній за формулою:

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

де P_p – розрахункова потужність навантажень, живлення котрих здійснюється через розрахункову ділянку;

$U_\phi = 230 \text{ В}$ – фазова напруга;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт активної потужності.

Для ділянки 1 групи 1 ЩОА:

$$I_p = \frac{0,36 \cdot 10^3}{230 \cdot 0,95} = 1,65 \text{ А}. \quad (3.13)$$

По отриманому значенню робочого струму вибираємо апарат захисту для групової лінії. Зупинимо свій вибір на автоматичних вимикачах, при виборі яких потрібно уникати хибного його спрацьовування від дії пускових струмів при одночасному вмиканні всіх світлових приладів групової лінії. Саме тому для всіх групових ліній вибираємо автоматичні вимикачі з кривою D [22]. Результати електротехнічного розрахунку та вибору апаратів захисту приведено в табл. 3.9.

3.10 Висновки до розділу

1. В результаті проведеного світлотехнічного розрахунку на основі методу коефіцієнта використання було отримано кількість та потужність

освітлювальних для використання в системі загального освітлення приміщення котельні розмірами 18×18 м² та висотою 18 м. Встановлено, що для забезпечення на рівні підлоги середньої освітленості 75 лк від групи світильників, встановлених на висоті 13 м, необхідно використати 4 світильники з кривою сили світла типу К та світловим потоком 10800 лм та два світильники зі світловим потоком 13500 лм.

Таблиця 3.9 – Результати електротехнічного розрахунку електричної освітлювальної мережі котельні

Щит освітлення	Група	Тип світлових приладів/висота установки	Кількість, шт	Потужність, Вт	Робочий струм, А	Марка та переріз кабелю	Тип апарату захисту
ЩО	1	ДСП19Вех-22-001/3,5 м	3	219	1,00	ВВГнг-3×1,5	ВА-2017/D 1p 2A АСКО
		ДСП19Вех-35-001/3,5 м	3				
		ДСП19Вех-16-001/3,5 м	3				
	2	ДСП19Вех-22-001/9,0 м	6	200	0,91		ВА-2017/D 1p 1A АСКО
		ДСП19Вех-22-001/6,5 м	2				
		ДСП19Вех-12-001/9,0 м	2				
	3	ДСП19Вех-12-001/9,0 м	2	103	0,47		ВА-2017/D 1p 1A АСКО
		ДСП19Вех-35-001/12,5 м	1				
	ДСП19Вех-22-001/12,5 м	2					
4	ЯТП	2	500	2,29	ВА-2017/D 1p 3A АСКО		
ЩОА	1	ДСП65В-60-211 У2	6	660	3,02	ВА-2017/D 1p 4A АСКО	
	2	Світлові покажчики	4	12	0,05	ВА-2017/D 1p 1A АСКО	

2. На основі тривимірної віртуальної моделі приміщення котельні в пакеті DIALux EVO розраховано значення середньої освітленості на робочих поверхнях. В результаті розрахунку було встановлено, що для того, щоб забезпечити рівень освітленості 75 лк від світильників загального освітлення на поверхнях проходів над обладнанням, розміщених на різних рівнях

необхідно потужність освітлювальної установки підвищити до 1,200 кВт, при цьому використовуючи світильники із світловою віддачею 135 лм/Вт.

3. В якості однієї із альтернатив запропоновано використати додаткові світлові прилади для освітлення проходів, що дозволило забезпечити нормовану освітленість, при цьому потужність освітлювальної системи становить 0,882 кВт.

4. Проведено співставлення значень споживаної потужності для освітлювальних установок загального, загального і додаткового освітлення на основі світлодіодних світильників, а також загального і додаткового освітлення на основі світильників із розрядними джерелами світла. Встановлено, що найменш енергозатратною є освітлювальна система зі світильниками загального та додаткового освітлення. Потужність такої освітлювальної установки є на 26,5 % та в 4,18 разів нижчою, ніж потужність освітлювальних установок зі світильниками загального освітлення та світильниками із газорозрядними лампами відповідно.

5. Для освітлювальної системи зі світильниками загального та додаткового освітлення проведено світлотехнічний розрахунок системи аварійного освітлення.

6. Виконано електротехнічний розрахунок електричної освітлювальної мережі, в результаті якого вибрано переріз жил кабелів та апарати захисту групових ліній.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Причини ураження електричним струмом в приміщеннях котелень

Одним із основних факторів небезпеки для персоналу, який працює в котельнях є електротравматизм. Засобами виключення та мінімізації ймовірності виникнення електротравм є застосування необхідних заходів безпеки, які полягають у запобіганні будь-якого контакту з електроприладами. При оцінці можливості ураження користуються параметрами:

Причинами ураження електричним струмом можуть бути:

- дотик до струмоведучих частин електроустановок, що знаходяться під напругою;
- дотик до відключених струмоведучих частин, на яких напруга може мати місце у випадках:
 - наявності залишкового заряду;
 - помилкового включення електроустановки або неузгоджених дій обслуговуючого персоналу;
 - дотику до металевих неструмових частин або пов'язаного з ними електрообладнання (корпусу, кожуха, огорожі) у разі переходу на них заряду з струмопровідних частин (пробою);
- ураження кроковою напругою під час перебування людини у полі розтікання електричного струму у разі замикання на землю;

Виділяють такі причини електротравматизму:

- організаційні (порушення вимог правил та інструкцій, недоліки у навчанні персоналу);
- технічні (погіршення електричної ізоляції, відсутність огорож, сигналізації та блокування, дефекти монтажу та ін.);
- психофізіологічні (перевтома, невідповідність психофізіологічних показань даному виду навчально-виробничої чи іншої діяльності);

- соціальні (непослух, цікавість).

В основу забезпечення електробезпеки має бути покладено виконання вимог чинних правил улаштування електроустановок (ПУЕ) та правил охорони праці (правил безпеки) під час експлуатації електроустановок. При виборі та розрахунку технічних пристроїв та інших засобів захисту враховуються три основні параметри: сила струму, що протікає через тіло людини, напруга дотику та тривалість протікання струму.

Відповідно до із нормативними документами для захисту від прямого дотику струмопровідні частини повинні бути повністю покриті ізоляцією, яка може бути усунена лише руйнуванням.

Для заводських виробів ізоляція повинна відповідати стандартам цього обладнання.

Для іншого обладнання захист повинен бути забезпечений ізоляцією, здатною довго протистояти навантаженням, що виникають в процесі експлуатації (механічні, електричні, хімічні та теплові впливи). Фарби, лаки, оліфи та подібні речовини самі по собі не розглядаються як достатня ізоляція для захисту від електричного ураження за нормальних умов експлуатації.

Автоматичне відключення живлення при пошкодженні ізоляції призначене для запобігання появі напруги дотику, тривалість дії якого може становити небезпеку. Чинним органом є захисний пристрій, призначений для автоматичного відключення живлення кола або електрообладнання, яке забезпечуватиме захист від непрямого дотику при замиканні струмопровідної частини на відкриту провідну частину або захисний провідник кола або електрообладнання таким чином, що час відключення живлення повинен забезпечувати електробезпеку людини при одночасному дотику провідним частинам також у разі можливого перевищення значень напруги дотику 50 В змінного струму (діюче значення) та 120 В випрямленого струму. Час відключення становить 0,8 с для системи TN при 230 В.

4.2. Аналіз факторів безпеки, які можуть виникати при експлуатації котелень

При роботі на енергооб'єкті персонал може зазнати впливу шкідливих виробничих факторів. Джерелами потенційної небезпеки для здоров'я людей є:

- електромагнітне та електричне поле;
- хімічні речовини;
- параметри мікроклімату;
- виробничий шум.

Електромагнітні поля (ЕМП) – це змінні електричні та магнітні поля, що поширюються у просторі у формі хвиль зі швидкістю світла. Ступінь біологічного впливу електромагнітних полів на організм людини залежить від частоти коливань, напруженості та інтенсивності поля, тривалості його впливу. Учені встановили, що найбільшу небезпеку для організму представляє тривале опромінення впродовж декількох років. Унаслідок дії електромагнітних полів можливі як гострі, так і хронічні ураження, порушення в системах і органах, функціональні зсуви в діяльності нервово-психічної, серцево-судинної, ендокринної, кровотворної та інших систем організму людини. Найбільший вплив на електромагнітну обстановку будь-яких будівель в діапазоні промислової частоти 50 Гц вносить електротехнічне устаткування, а саме: кабельні лінії, що підводять електрику до усіх споживачів системи життєзабезпечення будівлі, а також розподільні щити і трансформатори.

Токсичні хімічні речовини – це речовини, які викликають отруєння усього організму людини або впливають на окремі системи людського організму (наприклад, на кровотворення, центральну нервову систему). Ці речовини можуть викликати патологічні зміни певних органів, наприклад, нирок, печінки. До таких речовин належать такі сполуки, як чадний газ, селітра, концентровані розчини кислот чи лугів тощо.

За фізіологічним впливом на організм людини всі шкідливі речовини поділяються на такі групи: подразнюючі – уражають шляхи дихання, очі,

шкіру, слизові оболонки; задушливі – викликають токсичний набряк легень та дихальних шляхів; наркотичні – спричиняють наркотичний вплив і впливають на центральну нервову систему; канцерогенні речовини – що впливають, як правило, на виникнення злоякісних новоутворень.

Виробничий мікроклімат, як правило, відрізняється значною мінливістю, нерівномірністю по горизонталі та вертикалі, різноманітністю сполучень температури, вологості, рухомості повітря, інтенсивності випромінювання залежно від особливостей технології виробництва, кліматичних особливостей місцевості, конструкцій споруд, організації повітрообміну із зовнішнім середовищем. Джерелами теплоти повітря у виробничих приміщеннях є: технологічне устаткування, яке має високі температури нагріву (плавильні, сушильні печі, котли, паропроводи та ін.); нагріті до високих температур деталі й розплавлені матеріали, наприклад метал, скло; теплова енергія, яка виділяється рухомими механізмами.

Відомо, що надлишкова вологість повітря негативно впливає на механізм терморегуляції організму. Особливо шкідливою є вологість повітря, яка перевищує 70 – 75 % за температури 30 °С і більше. Фізична робота в умовах підвищеної температури призводить до прискорення серцебиття, зниження артеріального тиску. За низької температури може статися переохолодження організму, що спричинить простудне захворювання. Згідно з результатами досліджень людина є працездатною і нормально себе почуває, якщо температура навколишнього повітря не виходить за межі 18 – 20 °С, відносна вологість – 40 – 60 %, швидкість руху повітря – 0,1 – 0,2 м/с. Висока температура послаблює організм, викликає млявість, а низька – сковує рухи, що при обслуговуванні машин спричиняє підвищену небезпеку травмування. За високої температури та вологості може статися перегрів тіла та тепловий тепловий удар, який може бути викликаний також інфрачервоним випромінюванням.

Несприятливі суб'єктивні відчуття і вплив на організм людини зумовлює високочастотний шум з інтенсивністю 75 – 85 дБ. У робітників, які мають

справу з гуркотливими машинами та механізмами, виникають стійкі порушення слуху, що нерідко призводить до професійних захворювань (глухуватості і глухоти). Найбільша втрата слуху спостерігається протягом перших десяти років роботи, і з плином часу ця небезпека зростає. Тривала дія шуму на організм людини призводить до розвитку хронічної перевтоми, зниження працездатності, виникнення таких симптомів як поганий сон, сонливість, зниження слуху, порушення терморегуляції. Усе це може спричинити аварію на виробництві. Короткочасний, навіть одноразовий вплив шуму високої інтенсивності може спричинити повну загибель спірального органу або розрив барабанної перетинки, що супроводжується почуттям закладеності та різким болем у вухах. Наслідком баротравми нерідко буває повна втрата слуху. Крім того шум впливає на систему травлення і кровообігу, серцево-судинну систему. У разі постійного шумового фону до 70 дБ виникає порушення ендокринної та нервової систем, до 90 дБ – порушується слуг, до 120 дБ – виникає нестерпний фізичний біль. Шум не лише погіршує самопочуття людини, а й знижує продуктивність праці на 10 – 15 %. У зв'язку з цим боротьба з ним має не лише санітарно-гігієнічне, а й велике техніко-економічне значення.

Окрема група факторів, що впливає на здоров'я персоналу є важкість праці (навантаження на центральну нервову систему, органи чуття, емоційну сферу – інтелектуальне, емоційне навантаження, ступінь монотонності навантаження).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано основні вимоги до систем освітлення котельних приміщень.

2. Визначено основні шляхи підвищення енергоефективності освітлювальних установок для котелень. Встановлено, що при проектуванні нових чи реконструкції діючих котельних цехів для забезпечення високого рівня енергоефективності необхідним є застосування енергоефективних джерел світла та світлових приладів з ефективними КСС.

3. На підставі аналізу характеристик, а також переваг та недоліків різних типів джерел світла, встановлено що напівпровідникові джерела світла переважають інші по світловіддачі, терміну служби, безпечності та екологічності. Крім того при визначенні потенціалу економії електричної енергії при переході на ефективні КСС встановлено, що при переході на світлові прилади з КСС типу Г2, Г3, К1, К2 потенціал економії електричної енергії становить від 14 до 40 %, що стало причиною для формування завдання до даної роботи.

4. На підставі аналізу здійснено вибір методів світлотехнічного розрахунку. Для розрахунку світлотехнічної установки котельні вибрано метод коефіцієнта використання світлового потоку та метод випромінюваності, котрий є основою для розрахунків в пакетах DIALux та DIALux EVO.

5. На основі залежностей відношення відстані між світловими приладами або їх рядами до висоти їх установки над робочою поверхнею від коефіцієнта форми кривої сили світла розраховано кількість світлових приладів типу ДСП65В різних модифікацій щодо кривої сили світла в системі освітлення котельні.

6. В результаті розрахунку, виконаного на основі екстраполяції залежностей коефіцієнта корисної дії приміщень від індексів для кривих сил світла світлових приладів типу К, Г та М, встановлено, що коефіцієнт корисної дії частин приміщення котельні з індексами 0,55 та 0,31 становить в межах від 73,1 до 39,7 % та від 59,5 до 28,3 % відповідно.

7. В результаті проведеного світлотехнічного розрахунку на основі методу коефіцієнта використання було отримано кількість та потужність освітлювальних для використання в системі загального освітлення приміщення котельні розмірами 18×18 м² та висотою 18 м. Встановлено, що для забезпечення на рівні підлоги середньої освітленості 75 лк від групи світильників, встановлених на висоті 13 м, необхідно використати 4 світильники з кривою сили світла типу К та світловим потоком 10800 лм та два світильники зі світловим потоком 13500 лм.

8. Проведено моделювання та світлотехнічний розрахунок освітлювальної установки загального освітлення котельного приміщення в пакеті DIALux без врахування затінення робочої поверхні. В результаті встановлено, що освітлювальна установка, котра складається із двох світильників типу ДСП65В-100-211 та чотирьох світильників ДСП65В-100-211 здатна забезпечити середню освітленість на поверхні підлоги 81 лк, що відповідає державним будівельним вимогам щодо нормованої освітленості. З метою врахування затінення в пакеті DIALux EVO створено тривимірну віртуальну модель приміщення із встановленим в обладнанням.

9. На основі тривимірної віртуальної моделі приміщення котельні в пакеті DIALuxEVO розраховано значення середньої освітленості на робочих поверхнях. В результаті розрахунку було встановлено, що для того, щоб забезпечити рівень освітленості 75 лк від світильників загального освітлення на поверхнях проходів над обладнанням, розміщених на різних рівнях необхідно потужність освітлювальної установки підвищити до 1,200 кВт, при цьому використовуючи світильники із світловою віддачею 135 лм/Вт.

10. В якості однієї із альтернатив запропоновано використати додаткові світлові прилади для освітлення проходів, що дозволило забезпечити нормовану освітленість, при цьому потужність освітлювальної системи становить 0,882 кВт.

11. Проведено співставлення значень споживаної потужності для освітлювальних установок загального, загального і додаткового освітлення на

основі світлодіодних світильників, а також загального і додаткового освітлення на основі світильників із розрядними джерелами світла. Встановлено, що найменш енергозатратною є освітлювальна система зі світильниками загального та додаткового освітлення. Потужність такої освітлювальної установки є на 26,5 % та в 4,18 разів нижчою, ніж потужність освітлювальних установок зі світильниками загального освітлення та світильниками із газорозрядними лампами відповідно.

12. Виконано електротехнічний розрахунок електричної освітлювальної мережі, в результаті якого вибрано переріз жил кабелів та апарати захисту групових ліній.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДБН В.2.5-77:2014. Котельні. – К.: Мінрегіон України, 2014.– 54 с.
2. ДБН В.2.5 – 28 – 2018. Природне і штучне освітлення.– К.: Мінрегіон України, 2018.– 137 с.
3. 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.
4. Боммель В. Промышленное освещение и производительность труда// Светотехника. – 2003. - №1. – С. 8-12.
5. Бельд Г. Свет и здоровье// Светотехника. – 2003. - №1. – С. 4-7.
6. Курс лекцій з дисципліни «Проектування промислового освітлення» для студентів спеціальності 8.05070105 «Світлотехніка і джерела світла» / Укл. Костик Л.М., ТНТУ, 2015. - 132 с.
7. 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>
8. Тищенко Г.А. Осветительные установки.: Учебник для учащихся техникумов специальности "Электроосветительные приборы и установки". / Г.А. Тищенко – М.: Высшая школа, 1984. – 247 с.; ил.
9. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп. М.: Знак, 2006. – 972 с.: ил.
10. Макаров Д.Н. Методы комп'ютерного моделирования осветительных установок: дис. кандидата техн. наук: 05.09.07 / Макаров Денис Николаевич. – М, 2007. – 121 с.

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

12. 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.

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

14. Кручинин П.А. Основы программирования в среде MATLAB. Учебное пособие / П.А. Кручинин – М.: Издательство механико-математического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, 2001. – 49 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. ГСП18ВЕХ, ЖСП18ВЕХ, РСП18ВЕХ [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.

21. Провод ВВГнг – расшифровка и характеристики [Електронний ресурс] – [Цит. 2021, 02 листопада]. Режим доступу: <https://elektrik-a.su/kabeli-i-provoda/silovye/provod-vvgng-520>

22. Автоматичні вимикачі серії УКРЕМ ВА-2017 (Кількість полюсів: 1, Характеристика відключення: С и В и D) [Електронний ресурс] – [Цит. 2021, 20 листопада]. Режим доступу: https://www.acko.ua/e-store/xml_catalog/avtomatichni_vimikachi_serii_ukrem_va_2017/?arrFilter_3024_2021262425=Y&arrFilter_3027_3224290035=Y&arrFilter_3027_3072979557=Y&arrFilter_3027_773891039=Y&set_filter=%D0%97%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%81%D1%83%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B8&PAGEN_1=2