Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ
“___“ _____2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

«Аналіз та вдосконалення роботи систем освітлення основних загальнопромислових виробництв»

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу, групи *ЕЕ-22МЗ*
ОПП «Електротехнічні системи електроспоживання»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»,

_____Ігор ГЛАВНОВ
«____»_____2023 р.

Керівник роботи к.т.н., доцент
_____Наталія ГАРАСЬОВА
«_____»_____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 ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ
«____»_____2023 р.

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

Главнова Ігоря Вікторовича
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи *Аналіз та вдосконалення роботи систем освітлення основних загальнопромислових виробництв*
Analysis and improvement of lighting systems of the main general industrial productions

2. Керівник роботи *Гарасьова Наталія Юріївна, к.т.н., доцент*
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту *31.12.2023 р.*

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи *аналіз основних напрямків заощадження електроенергії в освітлювальних установках; енергоефективна система освітлення загальнопромислового виробництва на основі світлодіодних джерел світла; моделювання системи освітлення РМЦ; комплексний підхід до вдосконалення системи освітлення загальнопромислового виробництва; заходи з охорони праці та пожежної безпеки при виконанні монтажу та експлуатації системи освітлення РМЦ; оцінка економічної ефективності запропонованих заходів; висновки.*

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	10.10.2023 р.	
2	Аналіз основних напрямків заощадження електроенергії в освітлювальних установках	13.10.2023 р.	
3	Енергоефективна система освітлення загальнопромислового виробництва на основі світлодіодних джерел світла	25.10.2023 р.	
4	Моделювання системи освітлення	30.10.2023 р.	
5	Комплексний підхід до вдосконалення системи освітлення загальнопромислового виробництва	15.11.2023 р.	
6	Заходи з охорони праці та пожежної безпеки при виконанні монтажу та експлуатації системи освітлення	30.11.2023 р.	
7	Оцінка економічної ефективності запропонованих заходів	03.12.2023 р.	
8	Висновки, перелік посилань	09.12.2023 р.	
9	Оформлення презентації КР	13.12.2023 р.	
10	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки КР	15.12.2023 р.	

Дата видачі завдання «____» _____2023 р.

Підпис керівника _____ Наталія ГАРАСЬОВА

Завдання прийнято до виконання «____» _____2023 р.

Підпис здобувача _____ Ігор ГЛАВНОВ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 94 с. основної частини; 31 рис.; 15 табл.; 31 джерело, 3 додатки

Главнов І. В. Аналіз та вдосконалення роботи систем освітлення основних загальнопромислових виробництв. – Рукопис.

Магістерська робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Електротехнічні системи електроспоживання». – Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2023 рік.

Об'єктом досліджень є система суміщеного освітлення ремонтно-механічного цеха.

Предмет досліджень являється підвищення ефективності системи освітлення за рахунок впровадження енергоощадних заходів.

Метою роботи є аналіз та вдосконалення роботи системи освітлення основних загальнопромислових виробництв на прикладі ремонтно-механічного цеху.

У першій главі кваліфікаційної роботи виконано аналіз сучасних систем освітлення та розглянуті основні напрямки підвищення ефективності їх роботи. Друга глава присвячена модернізації системи освітлення РМЦ, виконані світлотехнічні та електротехнічні розрахунки. У третій главі досліджені сучасні програми світлотехнічних розрахунків та виконано моделювання системи освітлення механічного відділення РМЦ у програмі «DIALux». Четверта глава розкриває комплексний підхід до вдосконалення системи освітлення цеху, розрахована економічна ефективність застосованих заходів. У п'ятій главі висвітлені заходи з охорони праці при монтажі та експлуатації системи освітлення РМЦ.

Ключові слова: освітлювальна установка, джерело світла, світлодіодний світильник, моделювання освітлення, ефективність системи освітлення

ABSTRACT

Qualification work: 94 p. main part; 31 Fig.; 15 tables; 31 sources, 3 applications

Glavnov I. V. Analysis and improvement of the lighting systems of the main general industrial productions. - Manuscript.

Master's thesis on specialty 141 "Electric power engineering, electrical engineering and electromechanics", OPP "Electrotechnical systems of electricity consumption". – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2023.

The object of research is the combined lighting system of the repair and mechanical workshop.

The subject of research is improving the efficiency of the lighting system due to the implementation of energy-saving measures.

The purpose of the work is to analyze and improve the operation of the lighting system of the main general industrial productions using the example of a repair and mechanical shop.

In the first chapter of the qualification work, an analysis of modern lighting systems was carried out and the main directions for improving the efficiency of their work were considered. The second chapter is dedicated to the modernization of the repair and mechanical shop lighting system, lighting and electrical calculations have been performed. In the third chapter, modern programs for light engineering calculations are studied and modeling of the lighting system of the mechanical department of the repair and mechanical shop in the "DIALux" program is implemented. The fourth chapter reveals a comprehensive approach to the improvement of the lighting system of the shop, calculated economic efficiency of the applied measures. The fifth chapter covers labor protection measures during the installation and operation of the repair and mechanical shop lighting system.

Key words: lighting installation, light source, LED lamp, lighting simulation, lighting system efficiency

З М І С Т

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ…….…… 8

ВСТУП……..…… 9

1. ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ЗАОЩАДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВКАХ…… 11

1.1 Стан та завдання сучасного енергозберігаючого освітлення…... 11

1.2 Енергозберігаючі технології на етапі проектування системи освітлення…… 11

1.3 Енергоощадна експлуатації системи освітлення……. 15

2. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА СИСТЕМА ОСВІТЛЕННЯ ЗАГАЛЬНО-ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА НА ОСНОВІ СВІТЛО-ДІОДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА 23

2.1 Загальні вимоги щодо виконання системи освітлення ремонтно-механічного цеху, характеристика об′єкту……... 23

2.2 Виконання природного освітлення РМЦ…… 27

2.3 Виконання штучного освітлення ремонтно-механічного цеху.. 29

2.3.1. Базові методи визначення штучного освітлення…… 29

2.3.2. Виконання світлотехнічного розрахунку РМЦ…….. 33

2.3.3. Розрахунок евакуаційного освітлення……. 40

2.4 Виконання електричного розрахунку системи освітлення РМЦ. 42

3. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ РМЦ……. 49

3.1 Сучасні методи моделювання ОУ……... 49

3.1.1. Використання в світлотехнічному проектуванні теорії глобального освітлення…….. 49

3.1.2. Основні програми світлотехнічних розрахунків та їх функції…….. 52

3.1.3. Програма світлотехнічних розрахунків «DIALux»……. 54

3.2 Моделювання природного та штучного освітлення МВ РМЦ в 58

програмному комплексі «DIALux»…….
3.2.1. Моделювання природного освітлення МВ РМЦ…… 61
3.2.2. Моделювання штучного освітлення МВ РМЦ……. 62
4. КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ ЗАГАЛЬНОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА... 69
4.1 Розрахунок економічної ефективності використання СДС…….. 69
4.2 Основні заходи із заощадження електроенергії під час експлуатації ОП…….. 76
5. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ МОНТАЖУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ РМЦ……... 79
5.1 Загальні вимоги до працівників щодо охорони праці……... 81
5.2 Вимоги безпеки під час монтажу та експлуатації освітлювального обладнання…… 83
5.3 Розрахунок аварійного освітлення…….. 87
ВИСНОВКИ…… 90
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……... 92
Додаток А. Відомість світлотехнічних розрахунків для природного освітлення…… 95
Додаток Б. Відомість світлотехнічних розрахунків для штучного освітлення за першим варіантом……... 97
Додаток В. Відомість світлотехнічних розрахунків для штучного освітлення за другим варіантом……. 99

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ОП – освітлювальні прилади

ДБН – Державні будівельні норми

ПО – природнє освітлення

ОУ – освітлювальні установки

СП – світлові прилади

ДС – джерела світла

ПРА – пускорегулювальні апарати

ЕПРА - електроні пускорегулювальні апарати

КПО - коефіцієнта природної освітленості

КСС – крива сили світла

РМЦ – ремонтно-механічний цех

МВ – механічне відділення

КГ – комп’ютерна графіка

КСП - комп'ютерні світлотехнічні програми

ГЛ – газорозрядні лампи

ЛЛ – люмінесцентні лампи

ДРЛ – дугові ртутні лампи високого тиску

ДНаТ – натрієві лампи

МГЛ – метало галогенні дугові лампи

СД – світлодіодні лампи

ВСТУП

Актуальність теми. Вдосконалення системи освітлення сприяє економії електроенергії та ресурсів, що є важливим аспектом для сталого розвитку та зменшення витрат підприємства. Ефективна система освітлення безпосередньо впливає на безпеку праці та комфорт працівників, сприяючи зменшенню травматизму та підвищенню їхньої продуктивності.

Основними напрямками підвищення енергоефективності систем освітлення являється: встановлення енергоефективних джерел світла, використання сучасних освітлювальних приладів та електронної пускорегулюючої апаратури, автоматичне керування освітлювальними установками.

Крім технічних заходів важливо застосовувати також і організаційні, до яких відносяться: заміна ламп та пускорегулюючої апаратури, очищення світильників та підтримання ефективного колірного стану поверхонь.

Застосування сучасних технологій у системі освітлення призводить до створення більш гнучких та ефективних виробничих процесів, що є ключовим для конкурентоспроможності підприємства в сучасному бізнес-середовищі.

Мета і завдання дослідження. Метою кваліфікаційної роботи є підвищення енергоефективності системи освітлення основних загальнопромислових виробництв, на прикладі ремонтно-механічного цеху. Для цього потрібно провести аналіз використання електроенергії в системі освітлення з метою підвищення її енергоефективності.

Ключові завдання:

- визначитися з основними вимогами до виконання системи освітлення;
- провести дослідження напрямків заощадження електроенергії, що витрачається на освітлення;
- проаналізувати виконання системи освітлення ремонтно-механічного цеху (РМЦ) та оцінити встановлення сучасного світлодіодного освітлення. Для

цього провести світлотехнічний та електротехнічний розрахунки системи комбінованого освітлення РМЦ;

- провести моделювання природного та штучного освітлення цеху в програмному комплексі DIALux;
- провести аналіз ефективності запропонованих заходів з вдосконалення системи освітлення.

Ці кроки дозволять визначити можливості оптимізації системи освітлення для підвищення енергоефективності та забезпечення оптимальних умов праці.

Об'єктом дослідження являється система освітлення ремонтно-механічного цеху.

Предметом дослідження являється підвищення ефективності системи освітлення за рахунок її переоснащення та модернізації.

Методи дослідження основані на загальних принципах електротехнічних розрахунків, теорії автоматичного керування, обчислювальних методах, методах математичного моделювання, таких як програма для світлотехнічних розрахунків «DIALux», а також методу техніко-економічного аналізу, тобто методу порівнювального аналізу освітлювальних систем за значеннями енергетичної ефективності.

Проведені теоретичні розрахунки доповнюються шляхом виконання математичного моделювання.

Науково-практична цінність роботи.

Запропонована система освітлення ремонтно-механічного цеху з впровадженням сучасних енергозберігаючих світлодіодних світильників. Розроблена система заходів енергоощадної експлуатації системи освітлення. Виконано моделювання природного та штучного освітлення в програмному комплексі «DIALux», що дозволяє виконати енергетичну оцінку системи.

Результати досліджень можливо використовувати на практиці для модернізації існуючих систем освітлення цехів, або у навчальному процесі кафедри при проведенні наукових досліджень.

1 ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ЗАОЩАДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВКАХ

1.1 Стан та завдання сучасного енергозберігаючого освітлення

За експертними оцінками, витрати електроенергії на освітлення становлять близько (15-17) % від загального споживання електроенергії. В сучасних умовах обмеження споживання електроенергії, дуже актуальною постає задача збільшення ефективності використання електроенергії, в тому числі, в освітлювальних установках.

Відзначимо основні напрямки, що сприяють вирішенню цієї проблеми:

– впровадження прогресивних енергоощадних світлових приладів (СП);
– удосконалення засобів освітлення шляхом впровадження нових принципів проектування та нормування освітлення;
– виконання енергетичного аудиту та модернізація освітлювальних установок (ОУ) та мереж;
– заохочення споживачів електроенергії щодо застосування енергоощадних джерел світла;
– дотримання належного рівня експлуатації ОУ з виконанням всіх нормативних вимог.

1.2 Енергозберігаючі технології на етапі проектування системи освітлення

При проектуванні систем освітлення загальнопромислових виробництв потрібно сконцентрувати увагу на вирішенні наступних питань:

- правильне нормування освітлення;
- виконання раціонального розміщення освітлювальних приладів (ОП) та їх підключення;
- підбір найбільш ефективних джерел світла (ДС);

- оптимальне керування роботою освітлювальних приладів;
- направлення випромінювання джерел світла.

Правильно спроектована система освітлення повинна, передусім, відповідати установленим нормам для конкретного приміщення, таким як стандарти освітленості, рівні засліплення (дискомфорту), коефіцієнт пульсації та передача кольору.

Під час вибору джерела світла рекомендується використовувати переважно той тип лампи, який забезпечує найвищу світловіддачу відповідно до конкретних умов та вимог до якості освітлення.

У першу чергу, рекомендується використовувати сучасні та енергоощадні джерела світла при розробці нових об'єктів. При розташуванні джерел світла в порядку зростання їх енергетичної ефективності, лампи, що виготовляються промисловістю, розподіляться наступним чином: лампи розжарювання, дугові ртутні лампи, люмінесцентні лампи, металогалогенові лампи, натрієві лампи високого тиску та низького тиску, світлодіодні лампи.

За умови дотримання нормативних рівнів освітленості завдяки вищій світловіддачі високоефективні джерела світла забезпечують значну економію електроенергії, що можна відобразити у вигляді такої діаграми (рис.1.1):

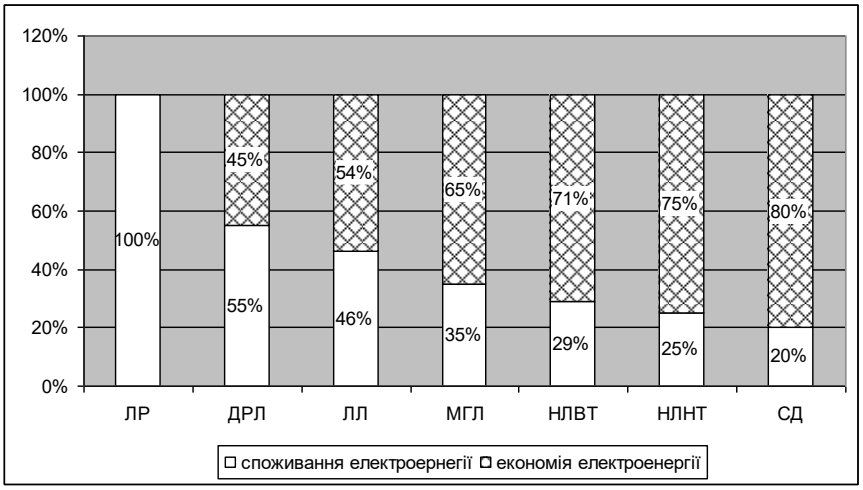


Рисунок 1.1 – Порівняльна характеристика енергетичної ефективності ДС.

Ефективність освітлення в значній мірі визначається правильним вибором та розташуванням світильників, враховуючи конкретні технологічні та архітектурні параметри приміщень.

Світильники поділяються за світлотехнічними та конструктивними характеристиками. Важливо враховувати конструктивні особливості, світлову потужність, розподіл світла, яскравість і економічність при виборі світильників. Якість освітлення у приміщенні, його рівномірність, розподіл яскравості, ступінь блиску і тіні, а також оптимальне затінення робочого місця залежать від правильного вибору та розташування світильників.

Ефективність світильників для загального освітлення в приміщеннях може бути визначена за допомогою коефіцієнта використання світлового потоку. Цей коефіцієнт представляє собою відношення світлового потоку, що припадає на робочу поверхню, до загального світлового потоку світильників. Його значення встановлюється за таблицями, враховуючи тип світильника, відбивні властивості поверхні приміщення та індекс приміщення. Таким чином, ефективність світильників у конкретному приміщенні залежить від типу світильника та властивостей його взаємодії з поверхнями, при цьому вищі значення коефіцієнта використання світлового потоку свідчать про більш ефективне використання світла.

Вірний вибір світильників з розподілом світлового потоку сприяє зменшенню витрат електроенергії. Економія електроенергії може сягати 15–20% у приміщеннях з низькою висотою і 20–40% у високих приміщеннях при використанні світильників з оптимальним розподілом для конкретних умов. Наприклад, заміна дифузійних люмінесцентних світильників на дзеркальні може призвести до заощадження близько 30% електроенергії.

Сучасні моделі світильників включають в себе пускорегулювальні (ПРА) електромагнітні апарати зі зниженими витратами енергії, а також електронні ПРА (ЕПРА). Зменшення споживаної електроенергії за рахунок підвищення світлової віддачі ламп та ПРА в світильниках з стандартними люмінесцентними та компактними люмінесцентними лампами становить:

- для ПРА зі зниженими втратами: (6–25)%;
- для ЕПРА: (14–55)%.

Освітлення виробничих приміщень може бути забезпечено системами загального або комбінованого (загального та локального) освітлення. Згідно з чинними нормативами для штучного освітлення в приміщеннях, де основна діяльність включає зорові роботи високої, вищої і середньої точності, що відповідають I-IV розрядам, зазвичай рекомендується використовувати систему комбінованого освітлення.

Вибір оптимальної системи освітлення для точних зорових робіт є важливим завданням у сфері нормування штучного освітлення. Галузеві норми, зазвичай, визначають рекомендовану систему освітленості для кожної виробничої ділянки та окремих робочих місць.

Для зменшення споживання електроенергії на освітлення можна використовувати природне світло сумісно з автоматичним керуванням штучним освітленням. Зміна інтенсивності природного світла особливо важлива в приміщеннях з браком природнього освітлення, де використовується система суміщеного освітлення. Суміщене освітлення передбачає компенсацію недостатнього природнього освітлення штучним.

Сучасні автоматизовані системи керування освітленням надають можливість контролювати інтенсивність природного світла і автоматично регулювати рівень штучного освітлення, забезпечуючи відповідний рівень освітлення на робочому місці.

Регулювання штучного освітлення в приміщенням дає змогу зменшити витрати електроенергії. Величина цього зменшення залежить від трьох основних факторів:

- коефіцієнта природної освітленості (*КПО*) приміщення (e);
- ймовірності використання природного світла (V);
- нормативної освітленості ($E_н$).

На величину КПО впливає розташування та розмірів світлових проємів, скління, світлопропускання та інші фактори. Це значення варіюється від 1 до 12% в різних приміщеннях.

Для визначення часу дії природного освітлення слід враховувати ту частину робочого часу, коли зовнішнє освітлення надає освітленість не менше визначеного значення $E_{зов} \cdot e$. Величина цього значення визначається не тільки зовнішньою освітленістю, на неї впливають географічна широта місцезнаходження освітлюваного об'єкту, період та тривалість робочого дня.

Розглянемо випадок, коли $\frac{E_н}{e} < E_{зов}$. В цьому випадку економію електроенергії можна отримати за рахунок дискретного керування штучним освітленням.

Якщо $\frac{E_н}{e} > E_{зов.max}$, то економія електроенергії досягається тільки плавним регулюванням штучного освітлення, яке працює в режимі суміщеного.

Якщо $E_н < e \cdot E_{зов}$, денне природнє освітлення в приміщення наближається до значення $E_н$. Економію від включення-відключення штучного освітлення можна визначити, як:

$$W_{вк-вик} = 1 - \frac{E_н}{E_{зов} \cdot e};$$

економію від плавного регулювання:

$$W_{пл.} = 1 - \frac{E_Н}{2 \cdot E_{зов} \cdot e}.$$

1.3 Енергоощадна експлуатації системи освітлення

Виконання промислових систем освітлення регламентується двома видами нормативних документів:

- загальнодержавні норми, які встановлюють вимоги до систем освітлення, що залежать від точності та складності зорової роботи;

- галузеві норми, якими регламентуються освітленість конкретних видів робіт. Розробляються на підставі загальнодержавних норм.

Загальнодержавні норми представлені у документі Державні Будівельні Норми України (ДБН В.2.5-28-2018) [3]. Відповідно до цих норм потрібно проектувати всі системи освітлення, також вони поширюються на проектування систем освітлення промислових підприємств, пристроїв місцевого освітлення, що постачаються разом з технологічним обладнанням.

ДБН являються підставою для розроблення галузевих стандартів освітлення, що створюються для врахування особливостей технологічного процесу, будівельних особливостей споруд та будівель.

Даними нормами ДБН регламентуються значення нормованих величин та вимоги до влаштування освітлення. Норми включають до складу основні розділи, що стосуються природного освітлення, суміщеного та штучного освітлення.

Класифікацію видів виробничого освітлення наведено на рис.1.2.

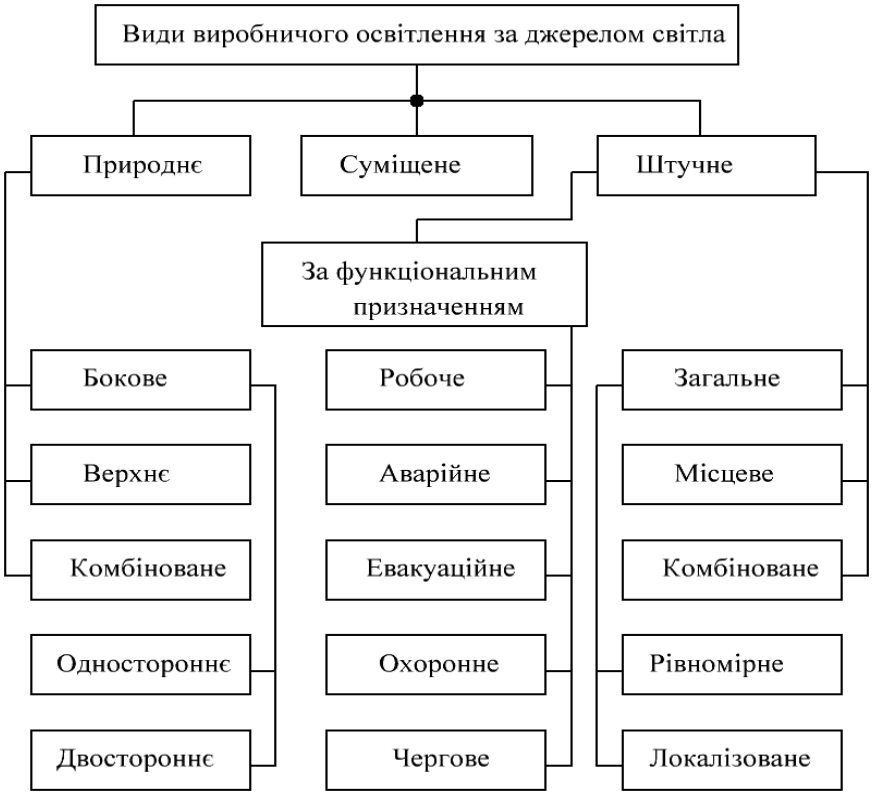


Рисунок 1.2- Класифікація видів виробничого освітлення за ДС.

Проблема економії електроенергії під час експлуатації освітлювальних приладів охоплює як технічні, так і організаційні аспекти. Для вирішення цієї проблеми важливо провести технічний аудит, який включатиме оцінку стану освітлювальних систем, їх відповідність нормативним вимогам та умовам технологічних процесів. В ході технічного аудиту аналізуються всі можливі напрямки для підвищення ефективності систем освітлення та зменшення витрат електроенергії.

Суттєва економія електроенергії отримується за рахунок застосування сучасних енергоощадних високоефективних ДС з заміною джерел, що мають нижчі енергетичні параметри.

Джерела світла характеризуються спектральним складом випромінювання, який визначає розподіл енергії випромінювання по довжині хвиль та світлову віддачу. Основні характеристики сучасних ДС наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Основні характеристики сучасних ДС.

№	Тип джерела світла	Досягнута світлова віддача, лм/Вт	Індекс кольоро-передачі, *R*a	Термін дії, год
1	Лампи розжарювання	7-18	100	800-1000
2	Галогенні лампи розжарювання	13-30	100	3000
3	Люмінесцентні лампи	50-80	60-85	10000-12000
4	Компактні люмінесцентні лампи	40-80	85	6000-12000
5	Ртутні високого тиску	40-55	40-60	12000-20000
6	Натрієві лампи високого тиску	80-150	23-80	10000-15000
7	Натрієві лампи низького тиску	100-200	-	10000-15000
8	Ксенонові лампи	120-150	70-95	2000
9	Метало галогенові лампи	70-90	70-95	8000-10000
10	Індукційні ртутні низького тиску	200	-	60000
11	Світлодіодні лампи	75-120	75-85	100000

Основні вимоги до сучасних систем освітлення формуються за такими напрямками:

- світловіддача;
- коефіцієнт потужності;
- корисний термін служби;
- екологічність, безпечність;
- складність обслуговування;
- пульсація, шум;
- коефіцієнт передачі кольору;
- час запалювання;
- одинична потужність;
- температура нагріву.

Якщо виконати аналіз видів електричного освітлення відповідно до вказаних критеріїв, то побачимо, що найкращим видом буде світлодіодне освітлення, а саме світлодіодні та компактні люмінесцентні лампи [4,5].

Зупинимося більш детально на застосуванні світлодіодних ламп для промислових виробництв.

Промислові світлодіодні світильники (*LED*) - чудова альтернатива традиційним лампам розжарювання, що досі зустрічаються на окремих підприємствах. Популярність світлодіодних ламп з кожним роком зростає та розширюється сфера їх застосування. Вони мають дуже добрі характеристики та високу економічність.

Такий світильник має два основних робочих елементи: світлодіод (елемент напівпровідникового типу, який служить джерелом світла) та драйвер. Крім того, виробниками обов'язково враховуються основні технічні та експлуатаційні характеристики: міцність, вологостійкість, оптимальні розміри. На виробництві світлодіодні освітлювальні прилади найчастіше використовуються в цехах, складських приміщеннях, лабораторіях, при освітленні будівельних майданчиків, в підвальних приміщеннях.

Для встановлення світильників використовується підвіс - спеціальний подовжувач, який дозволяє отримати комфортне для робочого персоналу світло.

Основні переваги світлодіодних світильників:

- економічність, хороша світловіддача;
- відсутність пульсацій та безпека світла для зору;
- комфортність освітлення та екологічна безпека;
- протиударні властивості;
- захищеність корпусу від попадання вологи або пилу;
- можливість встановлення датчиків для автоматичного відключення;
- широкий діапазон робочої температури (від – 40^0С до +50^0С);
- тривала експлуатація і надійність.

До недоліків слід віднести високу вартість, необхідність застосування блоків живлення, можливу втрату яскравості у разі використання неякісних моделей.

На ринку існує багато виробників світлодіодних ламп, деякі з найвідоміших у цій галузі: Philips, Osram, Cree, GE Lighting Samsung. *Cree* являється одним із світових лідерів у виробництві освітлювальних приладів, який використовує власні технологічні розробки для виробництва напівпровідників. Дуже відома компанія *Osram* випускає професійну лінійку світлотехніки, яка підходить для використання у промисловому виробництві. Декілька світильників цієї компанії наведено на рис. 1.3.

а)

б)

Рисунок 1.3 - Світлодіодні світильники брендів *Cree* (а) та *Osram* (б) .

Серед вітчизняних виробників слід відзначити сумісне українсько-бельгійське підприємство Ватра-Шредер [2] , що є національним лідером у виробництві високоякісних освітлювальних приладів. Номенклатура виробів підприємства включає широку гаму світильників для вуличного, декоративного, промислового і спортивного освітлення. Варіанти світильників для промислового освітлення представлено на рис. 1.4.

Рисунок 1.4 - Промислові світлодіодні світильники підприємства Ватра-Шредер.

Особливо слід відзначити світлодіодну продукцію, яку випускають у нашому місті. Підприємство Radiy LED [1] випускає інноваційні та надійні розробки світлодіодного освітлення для оснащення нових об'єктів та виконання модернізації. Для промислового освітлення випускають світлодіодні світильники серії СЕС (рис.1.5).

СЕС 4-126

СЕС 3-50БТ

ССВ 1-40

ССВ 10-75А

Рисунок 1.5 - Промислові світлодіодні світильники Radiy LED.

Таким чином, аналіз та порівняння різних джерела світла, показали, що доцільним та економним є використання світлодіодних джерел світла.

Модернізація системи освітлення промислового підприємства диктується не тільки економією електроенергії.

В процесі експлуатації системи освітлення може виникнути необхідність збільшення освітленості. Це пов’язано, насамперед, зі зміною санітарних норм освітленості. Наприклад, для загальних промислових зон потрібно забезпечити мінімум 200 лк, замість попередніх норм 100 лк.

Використання світлодіодних технологій дозволяє отримати світло із високим індексом кольоропередачі (CRI) більше 80, у порівнянні з газорозрядними лампами, що мають CRI: (20–70). Високий індекс кольоропередачі сприяє зниженню ризику "пересорту", виробничих дефектів, травматичних ситуацій та інших негативних аспектів, які характерні для низького CRI.

Значно зменшуються витрати, що повязані з експлуатацією системи освітлення. Світлодіодний світильник не потребує заміни лампи або інших комплектуючих. Тобто, не будуть використані додаткові вкладення протягом всього терміну експлуатації, який становить практично 100000 годин, що відповідає 10-12 рокам безперервної роботи. Підприємство економить не тільки на витратних матеріалах, а і економить робочий час монтажників, закупівельників та логістів.

Завдяки застосуванню світлодіодних світильників можливо підвищити рівень безпеки праці. У таких світильниках відсутні пульсації світлового потоку, миттєвий перестарт, немає реактивних елементів в ПРА.

Та, мабуть, найбільше значення має можливість використання систем керування. Для СДС легко застосувати керування світловим потоком, плавна зміна якого виконується у діапазоні (0-100)%. Споживання електроенергії, при цьому, теж змінюється у межах (0-100)%.

Система керування освітленням легко інтегрується у технологічні процеси на виробництві. Це призводить до додаткового заощадження

електроенергії та підвищення рівня комфорту та безпеки праці. Хоча вартість регульованих світильників більша за нерегульовані на (20-30)%, їх застосування у перспективі дозволить отримати більший відсоток економії електроенергії.

Споживання електричної енергії, що витрачається на системи освітлення збільшується, тому так важливо використовувати її ефективно. Це суттєвий вклад у зниження загального споживання енергоресурсів, що веде до зменшення викидів в атмосферу шкідливих речовин та покращенню екологічної ситуації.

2 ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА СИСТЕМА ОСВІТЛЕННЯ ЗАГАЛЬНОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА НА ОСНОВІ СВІТЛОДІОДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

2.1 Загальні вимоги щодо виконання системи освітлення ремонтно-механічного цеху, характеристика об′єкту

Якісне виконання електричних мереж для освітлення на промислових підприємствах є основою ефективного використання електроенергії, покращує якість виробленої продукції, підвищує продуктивність праці та зменшує кількість аварій та травматичних випадків. Дослідження встановили вплив умов штучного освітлення на функції зору. При нормуванні кількісних та якісних характеристик освітлення на промислових об'єктах, галузеві стандарти слугують основою для розробки рекомендацій з вибору джерел світла, систем та засобів штучного освітлення.

Критерієм вибору системи освітлення являється точність зорових робіт, які виконуються на даному виробництві, умови природного освітлення, характер та особливості виробничого обладнання. Потрібно користуватися галузевими нормами штучного освітлення, рекомендації наведені у в [4,5].

Для економічного виконання загального освітлення виробничих приміщень потрібно здійснювати вибір освітлювальних приладів (ОП) за найбільш ефективними КСС для конкретних умов варіанту освітлення.

Для забезпечення загального рівномірного освітлення на промислових об'єктах використовують оптимальні відношення відстані між сусідніми освітлювальними приладами (або рядами світильників) у порівнянні з їхньою висотою над розрахунковою поверхнею, що є критерієм економічності освітлювальних приладів. Можливе зменшення рекомендованих відношень $\frac{L}{h}$, може бути обумовлене конструкцією перекриття, або випадками, коли це необхідно для відповідності нормативам з осліпленості та коефіцієнта пульсацій. Також, може допускатися зменшення відношень, якщо мінімальне

рекомендоване значення і мінімальна потужність джерела світла не забезпечують нормативну освітленість. Загальні рекомендації з вибору джерел світла та світильників для освітлення виробничих приміщень можна знайти в [4].

При визначенні місця та способу розташування джерел світла важливо враховувати будівельні характеристики приміщень, їхню висоту та наявність кранового та транспортного обладнання. В багатьох виробничих приміщеннях встановлені мостові крани, які можуть створювати тінь на світильниках, що розташовані вище, зменшуючи освітленість в зоні, де працює кран.

Висуваються основні умови для розміщення освітлювальних приладів у виробничих приміщеннях:

- забезпечення необхідної якості освітлення (прямої та відбитої блискості; рівномірності, обмеження тіні та пульсацій освітлення, направлення світла;
- економічність досягнення нормованої освітленості;
- надійність закріплення освітлювальних приладів;
- зручний та безпечний доступ для обслуговування.

Крім того, потрібно забезпечити безперебійність та високу надійність електропостачання для евакуаційного та аварійного освітлення.

Висота приміщень, в яких в основному розміщуються ремонтно-механічні цеха становить (3,2 – 18) м, ширина прольотів (9-30) м. Розміщення металообробних верстатів виконується, як правило, рядами вздовж прольотів, від одного до чотирьох рядів. В центрі прольотів розміщується основний прохід шириною від двох до чотирьох метрів.

При виконанні штучного освітлення цехів потрібно користуватися нормами [6,8] . Виконання операцій на металообробних і слюсарних верстатах включає в себе контроль за правильністю установки та обробки деталей, налаштування верстата, виконання контролю якості обробки і відноситься до завдань високої точності, що вимагає використання комбінованого освітлення з переважним використанням ламп ЛЛ типу ЛБ для загального освітлення. Для місцевого освітлення робіт з блискучими металевими поверхнями

рекомендується використовувати лампи типів ЛД і ЛХБ. Використання ламп ДРЛ доцільне при висоті цехів вище 6 м , коли використання ламп ЛЛ призводить до різкого і неприпустимого збільшення освітлювальних приладів в ОУ, що робить експлуатацію більш складною та дорожчою. Також для освітлення високих механічних цехів можуть застосовуватися лампи МГЛ.

Тип зорових робіт та середовище в ремонтно-механічних цехах дозволяють використовувати відкриті, як дифузні, так і дзеркальні освітлювальні прилади зі ступенем захисту IP20. Вибір типу загального освітлення залежить від рівня освітленості та висоти їх розташування. Для приміщень низької висоти (до 6 м) раціонально використовувати дифузні прилади типів ЛД, ЛСП02 із ЛЛ. Приміщення висотою 7 м та вище можна ефективно освітлювати приладами глибокого світлорозподілу, наприклад, типу ЛСП13. Для освітлення високих приміщень до 18 м можна використовувати також освітлювальні прилади з лампами ДРЛ та МГЛ.

У ремонтно-механічних цехах необхідно забезпечити місцеве освітлення на всіх робочих місцях. За виконанням освітлення робочих зон верстати можна поділити на три категорії:

1. Верстати токарні (револьверні, універсальні та гвинторізні,), свердлильні, поперечно-стругальні та зубофрезерні верстати. Для цієї категорії допустима мінімальна висота встановлення освітлювальних приладів до поверхні виробів знаходиться у межах (0,3-0,4) м.
2. Верстати шліфувальні та полірувальні. Мінімальна висота встановлення ОП - (0,1-0,2) м.
3. Верстати крупногабаритні (горизонтально-розточні, продольно-фрезерні, карусельні). На цих верстатах виконується освітлення двох робочих зон: оброблення та керування.

Вимоги до якості виконання освітлення металообробних верстатів передбачають, головним чином, підвищення контрасту між деталями та фоном, обмеження прямого та відбитого блиску і забезпечення рівномірності яскравості в полі зору.

У якості об’єкта дослідження розглянемо ремонтно-механічний цех промислового підприємства, який включає до свого складу механічне відділення, відділення бакелітового покриття, ремонтно-будівельне відділення, пресове відділення та зварювальне відділення. Об’єкт має загальну площу 2642 м^2, висота стелі дорівнює 5,8 м. Природня освітленість створюється за рахунок вікон, які розміщені по периметру будівлі.

Живлення електроприймачів цеху здійснюється від двохтрансформаторної підстанції ТП-1 напругою 10/0,4 кВ.

Види робіт, які виконуються в ремонтно-механічному цеху та його відділеннях забезпечують діяльність головного технологічного процесу, наприклад, ремонт та випробування основного обладнання, виготовлення окремих вузлів та механізмів. Для виконання цих робіт у відділеннях встановлене необхідне обладнання. Механічне відділення має парк металообробних верстатів, зварювальне відділення має обладнання для створення різноманітних з’єднань металів. Ремонтно-будівельне відділення, яке призначено для виготовлення та ремонту виробів з дерева, має різноманітні деревообробні верстати. В кожному з відділень передбачена необхідна вентиляція для створення клімату у приміщеннях.

Споруда цеху виконана у збірному залізобетоні, передбачено встановлення колон через кожні 6 м. Розміри приміщень та необхідні норми освітленості вказано у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1- Площа відділень та норми освітленості ремонтно-механічного цеху.

№	Найменування приміщення	S мм^2	E_{min}, Лк
1	Механічне відділення	1200	300
2	Відділення бакелітового покриття	875	300
3	Ремонтно-будівельне відділення	320	300
4	Зварювальне відділення	455	300
5	Пресове відділення	440	300

2.2 Виконання природного освітлення РМЦ

Природне освітлення (ПО)- це процес освітлення приміщень за рахунок природного світла, яке надходить через вікна, світлопрозорі конструкції або інші відкриті простори. Основним джерелом природного світла є сонце. Природне освітлення є важливим аспектом дизайну будівель і приміщень, оскільки воно може покращити зручність та комфорт приміщення, а також впливати на настрій та продуктивність людей, які перебувають всередині.

Елементи проектування, такі як розміщення та конфігурація вікон, використання світлорозсіюючих матеріалів і системи автоматизованого управління освітленням, можуть бути використані для оптимізації природного освітлення в будівлях.

Виконання природного освітлення повинно бути передбачено для приміщень з постійним перебуванням людей. Проектування приміщень без природного освітлення допускається у випадках, що визначені ДБН, для проектування будівель і споруд, а також нормативними документами з будівельного проектування окремих галузей промисловості, що затверджені в установленому порядку. Це також стосується приміщень, розміщених у підвальних поверхах будівель.

Нормативні значення коефіцієнту ПО встановлюються відповідно до розряду зорової роботи, всього прийнято 8 розрядів [3]. Номер розряду визначається найменшим розміром об’єкта розрізнення та залежить від системи освітлення (верхня, бокова чи комбінована). Для виробничих приміщень із 1-3 розрядами зорової роботи використовується суміщене освітлення.

Розрахунок природного освітлення в будівлях виконується з урахуванням декількох факторів, таких як розміри та орієнтація вікон, прозорість конструкцій, місцезнаходження будівлі і географічні умови. Розрахунки починаються з визначення рівня освітленості, який вимагається в різних частинах будівлі відповідно до будівельних норм і вимог. Аналізується потік світла, який може потрапляти через вікна або інші світлопроникні конструкції. Для цього

враховуються геометричні параметри приміщення, розмір і орієнтація вікон, висота покрівлі та інші фактори. Враховується значення абатменту, тобто втрата світла через різні фактори, такі як загрози або природні перешкоди, це важливо для визначення реального світлового потоку, який досягає внутрішніх приміщень. Після отримання потоку світла, проводиться аналіз рівномірності його розподілу в приміщенні. Це дозволяє визначити, наскільки рівномірно будуть освітлені різні області приміщення. За необхідності, розрахунки можуть враховувати використання технічних засобів, таких як рефлектори, жалюзі, сонцезахисні пристрої, що можуть покращити розподіл світла в приміщенні.

Розрахунки природного освітлення допомагають оптимізувати дизайн будівель і підвищити ефективність використання природного світла, забезпечуючи при цьому комфорт і відповідність нормативам.

Для розрахунку природного освітлення механічного відділення ремонтно-механічного цеху скористаємося методом відносної площі світлових прорізів. Цей метод є одним із способів оцінки та розрахунку природного освітлення в будівлях. Він базується на визначенні співвідношення площі вікон (або інших світлопроникних елементів) до площі підлогової частини приміщення.

Щоб використовувати метод відносної площі світлових прорізів, слід визначити площу вікон у відсотках від загальної площі підлоги, в кожному приміщенні. Це співвідношення використовується для оцінки природного світлового потоку, який може потрапляти в приміщення через ці світлові прорізи.

Основна ідея полягає в тому, що чим більше площа вікон відносно площі приміщення, тим більше природного світла може проникати в середину приміщення, зменшуючи при цьому потребу в штучному освітленні та сприяючи заощадженню електроенергії.

Метод відносної площі світлових прорізів є одним з критеріїв для дотримання будівельних стандартів та розрахунків енергоефективності будівель, з точки зору природного освітлення. Крім того, метод простий у застосуванні. Скористаємося формулою для обчислення відносної площі світлових прорізів α:

$$\alpha = \frac{S_{вікн}}{S_{підл}} \cdot 100 = \frac{119}{1200} \cdot 100 = 9{,}92\,\% \quad , \tag{2.1}$$

де $S_{вікн}$ – сумарне значення площі вікон відділення, м^2;

$S_{підл}$ – значення площі підлоги у механічному відділенні, м^2.

Отримане значення потрібно порівняти із рекомендованим, яке наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Рекомендовані значення залежності значення α від розряду зорової роботи.

№	Вид робіт за ступенем точності	Розряд зорової роботи	α,%
1	Дуже високої точності	II	16-20
2	Високої точності	III	14-16
3	Середньої точності	IV	12-14
4	Малої точності	V	10-12

В результаті проведеного порівняння можливо зробити висновок, що одного природного освітлення не вистачає, в цьому випадку, додатково потрібно виконувати ще штучне освітлення, тобто приймаємо суміщену систему освітлення.

2.3 Виконання штучного освітлення ремонтно-механічного цеху

2.3.1. Базові методи визначення штучного освітлення

Розрахунок штучного освітлення включає в себе визначення необхідної кількості світла для забезпечення визначених умов освітленості у приміщенні. Існують різні методи розрахунку штучного освітлення, в залежності від конкретних умов і завдань. Декілька з них включають:

- метод коефіцієнта використання (КВ);
- метод відомих точок;
- метод відносної освітленості;

- метод робочих поверхонь;
- метод питомої потужності;
- метод допустимого діаметра тіні.

Розглянемо деякі з цих методів. Метод КВ призначений для визначення загального рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь при відсутності крупних затінюючих предметів. Для цієї ж мети існують різноманітні спрощені форми цього методу. При розрахунку по цьому методу враховується як пряме так і відбите світло. Перехід від середньої освітленості до мінімальної здійснюється в цьому методі приблизно.

Необхідний потік ламп у кожному світильнику *Ф* знаходимо за формулою:

$$\Phi_{розр} = \frac{E_{\min} \cdot Z \cdot k_з \cdot A \cdot B}{\eta \cdot N}, \qquad (2.2)$$

де $E_{\min}$ –задана мінімальна освітленість, лк;

Z - коефіцієнт мінімальної освітленості;

$k_з$ - значення коефіцієнт запасу;

A, B – довжина та ширина приміщення, м;

η - коефіцієнт використання світлового потоку джерела світла;

N – число світильників (як правило намічається до розрахунку).

По значенню *Ф* обирається найближча стандартна лампа, потік якої не повинен відрізнятися від *Ф* більше ніж від -10% до +20%. Якщо неможливо вибрати з таким наближенням, коректується *N*. Для однозначно заданого Ф (люмінесцентні світильники, призначені для визначених ламп, світильники малої потужності, використання яких доцільно з лампами найбільш можливої потужності) формула розв’язується відносно *N*. При всіх заданих інших величинах формула може бути використана для визначення очікуємої *E*.

При розрахунку люмінесцентного освітлення частіше всього попередньо намічається число рядів *n*, яке підставляється у формулу (2.2) замість *N*. Тоді під *Ф* слід розуміти потік одного ряду.

При обраному типі світильника і спектральному типі ламп, потік лампи в кожному світильнику Φ_1 може мати тільки 2-3 різноманітних значення.

Кількість світильників у ряду визначається по формулі:

$$N=\Phi/\Phi_1 \ . \qquad (2.3)$$

Сумарна довжина світильників порівнюється з довжиною приміщення, і можливі наступні варіанти:

- якщо сумарна довжина світильників перевищує довжину приміщення, застосовують більш потужні лампи, для яких потік на одиницю довжини більший, або збільшують кількість рядів, або компонують ряди зі здвоєних, зтроєних, тощо, світильників;
- якщо сумарна довжина світильників дорівнює довжині приміщення, улаштовують безперервний ряд світильників;
- якщо менше довжини приміщення – приймається ряд з рівномірно розподіленими розривами між світильниками.

З кількох можливих варіантів на підставі техніко-економічних порівнянь обирається кращий.

Коефіцієнт Z характеризує нерівномірність освітлення та виступає функцією багатьох змінних. Але, найбільше на нього впливає відношення відстані між світильниками та розрахункової висоти: L/h. При збільшенні цього відношення понад нормоване значення, величина Z може різко збільшуватися.

Для розрахунку коефіцієнта використання (η) потрібно визначити індекс приміщення (i). Також, попередньо, оцінюються коефіцієнти відбиття всіх поверхонь приміщення:

$\rho_{ст}$ - коефіцієнт відбиття стелі;

$\rho_{с}$ - коефіцієнт відбиття стін;

$\rho_{п}$ - коефіцієнт відбиття розрахункової поверхні або підлоги.

Індекс приміщення (i) визначаємо по формулі:

$$i=\frac{A\cdot B}{H_p\cdot(A+B)}, \tag{2.4}$$

де A –довжина приміщення, м;

B – його ширина, м;

$H_р$ – розрахункова висота, м.

Основна ідея точкового методу полягає в розгляді джерел світла як точкових джерел, що випромінюють світло у всі напрямки. Цей метод часто використовується для дослідження освітлення в приміщеннях з невеликою площею та простими конфігураціями. Послідовність виконання розрахунків за цим методом:

- задаються параметри світлових джерел, такі як їхні положення, світлова потужність та розподіл світла в просторі;
- задаються розміри та положення об'єктів, які потребують освітлення;
- визначається кількість світла, яку виділяє кожне джерело та яка потрапляє на робочі поверхні;
- обчислюється освітленість на робочих поверхнях, використовуючи отримані світлові потоки та характеристики приміщення;
- у разі необхідності можуть вноситися корекції для досягнення оптимального розподілу світла та заданих параметрів освітлення.

Точковий метод може бути використаний для визначення освітленості для точки на робочій поверхні, як у випадку локалізованого, так і рівномірного розташування світильників. У межах поверхні вибирається точка з найменшою освітленістю (найгірша), для неї ведеться розрахунок, який повинен підтвердити її нормовану освітленість. У деяких випадках потрібно визначати сумарну освітленість для декількох точок, які вважаються характерними. Якщо розглядається рівномірне освітлення для крупного приміщення, то в якості контрольних точок вибирається центр кутового поля та середина по його довгій стороні.

Цей метод може бути використаний для виконання перевірочних розрахунків. Його суттєвим недоліком являється те, що метод не визначає

освітленість, яка утворюється відображеним світловим потоком.

Метод питомої потужності (чи метод відносної потужності) - це один із методів розрахунку штучного освітлення, який базується на визначенні відношення потужності світлових джерел до площі освітлюваної поверхні. Цей метод дозволяє оцінити кількість світлового потоку, який приходиться на один квадратний метр поверхні.

Застосовується цей метод при загальному рівномірному освітленні, або для оцінювання правильності виконання світлотехнічного розрахунку. Як правило, його використовують при проектуванні системи освітлення, коли потрібно оцінити встановлену потужність освітлювальних приладів для ділянок, цехів або корпусів ПП.

Значення питомої потужності вибирається з довідникової літератури і залежить від типу світильника, висоти підвісу, заданої освітленості та характеристики приміщення. Орієнтовне значення встановленої потужності ламп знаходять за формулою:

$$P_0 = p_{пит} \cdot F \ . \qquad (2.5)$$

Цей метод не підходить для розрахунків локалізованого освітлення, або якщо приміщення затінено громіздким устаткуванням.

2.3.2. Виконання світлотехнічного розрахунку РМЦ

Світлотехнічний розрахунок проводять у наступній послідовності:

- вибирають джерело світла;
- визначають освітленість і коефіцієнт запасу;
- вибирають системи і види освітлення;
- визначають світильники, їх розміщення і висоту підвісу;
- розраховують встановлену освітлювальну потужність.

В магістерській роботі для виконання світлотехнічного розрахунку застосовується метод коефіцієнта використання. Розрахунок виконується на

прикладі механічного відділення, всі необхідні параметри для розрахунку внесені в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 - Дані для світлотехнічного розрахунку механічного відділення (МВ) РМЦ.

№	Параметр	Умовне позначення	Одиниці виміру	Значення
1	Нормована освітленість приміщення	Eн	лк	300
2	Довжина МВ	$A_{мв}$	м	40
3	Ширина МВ	$B_{мв}$	м	30
4	Висота МВ	$H_{мв}$	м	5,8
5	висота підвісу світильників	$h_с$	м	0,8
6	висота робочої поверхні	$h_р$	м	0,8

Розрахунок виконується у два етапи. На першому етапі приймаємо світильники з лампами ДРЛ, на другому – проводимо модернізацію механічного відділення ремонтно-механічного цеху з встановленням сучасних енергозберігаючих світлодіодних ламп. Напруга робочого освітлення 220 В, ремонтне та аварійне виконано на напругу 36 В.

Визначаємо розміщення світильників. На рис. 2.1 та 2.2 наведено зображення розміщення світильників у двох плоскостях.

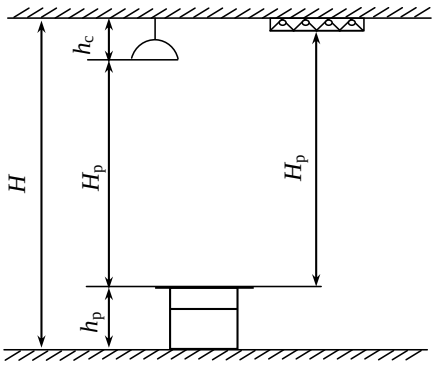


Рисунок 2.1- Розміщення світильників за висотою приміщення.

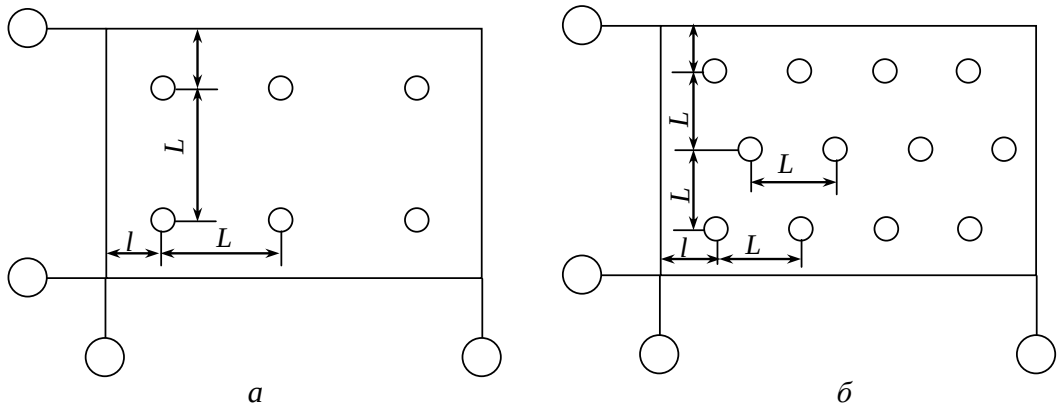


Рисунок 2.2 - Варіанти розміщення світильників на плані цеху:

а) по кутам прямокутника; *б)* шаховим способом.

Визначаємо розрахункову висоту встановлення світильника над освітлюваною поверхнею $H_р$, м.:

$$H_p = H_{мв} - h_р - h_с = 5{,}8 - 0{,}8 - 0{,}8 = 4{,}2 \text{ м},$$

де $H_{мв}$– висота механічного відділення, м;

$h_р$ – висота робочої поверхні, м;

$h_с$ – висота підвісу світильника, м.

Вибираємо коефіцієнти відбиття поверхні відділення [4]:

- для стелі $\rho_{ст}$ = 50%;
- для стін $\rho_с$ = 30%;
- для підлоги $\rho_п$ = 10%.

У якості ДС вибираємо світильники РСП-05, що комплектуються лампами ДРЛ400, світловий потік для ламп становить *Ф = 24000 лм.*

Значення коефіцієнта запасу $K_з$ = 1,5 [4], враховує нижчу освітленість через забруднення поверхні світильника, старіння ламп, забруднення стелі та стін приміщення.

Значення коефіцієнта *z = 1,15* [4], приймається при індивідуальной установці світильників.

Приймаємо тип лампи ДРЛ400. Розраховуємо індекс приміщення:

$$i = \frac{A_{мв} \cdot B_{мв}}{H_p \cdot (A_{мв} + B_{мв})} = \frac{40 \cdot 30}{4{,}2 \cdot (40 + 30)} = 4{,}082 .$$

При прийнятих відбиваючих властивостей відділення та вибраного типу світильника отримаємо коефіцієнт використання [4]: η= 0,76.

Розраховуємо відстань між світильниками:

$$\lambda = \frac{\mathrm{L}}{\mathrm{H_р}} = 1 ,$$

де L – відстань між світильниками;

$H_р$ – розрахункова висота підвісу світильника, що дорівнює відстані по перпендикуляру до розрахункової площини.

$$L = H_р \cdot \lambda = 4{,}2 \cdot 1 = 4{,}2 \text{ м.}$$

Число рядів світильників визначається по формулі:

$$R = \frac{B_{МВ} - 2 \cdot l}{L} + 1 = \frac{30 - 2 \cdot 1{,}68}{4{,}2} + 1 = 7{,}34 \text{ шт,}$$

де $B_{мв}$ – ширина механічного відділення, $B_{мв}$=30 м;

l – відстань до стіни (приймаємо 0,4·L), l=0,4·4,2=1,68 м.

Приймаємо R=7 шт.

Визначимо світловий потік одного ряду світильників, при загальній кількості рядів 7, для ламп ДРЛ.

$$\Phi' = \frac{A_{мв} \cdot B_{мв} \cdot k_з \cdot z \cdot Eн}{R \cdot \eta} = \frac{40 \cdot 30 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}15 \cdot 300}{7 \cdot 0{,}76} = 116729{,}3 \ лм.$$

Розрахункова кількість світильників для ряду:

$$N = \frac{\Phi'}{\Phi} = \frac{116729{,}3}{24000} = 4{,}86.$$

Приймаємо по 5 світильників. Розрахунок фактичного освітлення:

$$E_{\text{розр}} = \frac{\Phi_л \cdot R \cdot N \cdot \eta}{k_з \cdot z \cdot A_{мв} \cdot B_{мв}} = \frac{24000 \cdot 7 \cdot 5 \cdot 0{,}76}{1{,}5 \cdot 1{,}15 \cdot 40 \cdot 30} = 308{,}406\, лк.$$

Відносна похибка:

$$\nu = \frac{308{,}406 - 300}{300} \cdot 100\% = 2{,}8\%.$$

Перевіряємо результат розрахунку, що повинен знаходитись у межах:

$$-10\% < \nu = 2{,}8 < +20\%,$$

тобто розрахунок задовольняє умовам.

Отримаємо загальну кількість світильників – 35 шт.

Обчислимо значення активної та реактивної потужності, що споживається освітленням механічного відділення у випадку встановлення ламп ДРЛ:

$$P_0 = n \cdot P = 35 \cdot 400 = 1400\,\text{Вт};$$

$$P_{мв} = P_0 \cdot k_1 \cdot k_n = 1{,}4 \cdot 1{,}12 \cdot 0{,}95 = 14{,}91\,\text{кВт};$$

$$Q_{мв} = P_{мв} \cdot tg\varphi = 14{,}91 \cdot 1{,}73 = 25{,}794\,\text{кВАр}.$$

Тепер, виконаємо подібний розрахунок з встановленням сучасних світлодіодних світильників. Вихідні дані механічного відділення залишаються незмінними. Повторюємо аналогічні розрахунки:

$$h = H_ц - h_р - h_с = 5{,}8 - 0{,}8 - 0{,}8 = 4{,}2\ \text{м};$$

$$\rho_{ст} = 50\%;\ \rho_с = 30\%;\ \rho_{пл} = 10\%;$$

$$i = \frac{A_{мв} \cdot B_{мв}}{h_p \cdot (A_{мв} + B_{мв})} = \frac{(40 \cdot 30)}{4{,}2 \cdot (40 + 30)} = 4{,}082;$$

$K_з$ = 1,4; z = 1,15; λ =1,6 ; η = 0,85 [4].

$$L = H_р \cdot \lambda = 4{,}2 \cdot 1{,}6 = 6{,}72 \text{ м.}$$

$$R = \frac{B_{мв} - 2 \cdot l}{L} + 1 = \frac{30 - 2 \cdot 1{,}68}{6{,}72} + 1 = 4{,}66 \approx 5 \text{ шт.}$$

Приймаємо R=5 шт.

Визначимо світловий потік (СП) для одного ряду:

$$\Phi' = \frac{A_{МВ} \cdot B_{МВ} \cdot k_З \cdot z \cdot Eн}{N \cdot \eta} = \frac{40 \cdot 30 \cdot 1{,}4 \cdot 1{,}15 \cdot 300}{5 \cdot 0{,}85} = 136376{,}5 \ лм.$$

Далі визначимо світловий потік для однієї лампи:

$$Фр = \frac{E_н \cdot K_З \cdot S_{мв} \cdot z}{n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 1{,}4 \cdot 1200 \cdot 1.15}{35 \cdot 0{,}85} = 19482{,}35 \text{ Лм.}$$

За результатами розрахунку приймаємо найближчий стандартний світильник , що має світловий потік $Ф$н=18500 лм, СЕС 8-126.

Далі визначаємо розрахункову кількість світильників для ряду:

$$n_{св} = \frac{\Phi'}{\Phi_н} = \frac{136376{,}5}{18500} = 7{,}37 .$$

Для встановлення приймаємо сім світильників. Визначаємо фактичне освітлення:

$$E_{расч} = \frac{\Phi_н \cdot R \cdot N \cdot \eta}{k_З \cdot z \cdot A_{мв} \cdot B_{мв}} = \frac{18500 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 0{,}85}{1{,}4 \cdot 1{,}15 \cdot 40 \cdot 30} = 284{,}87 \ лк.$$

Оцінюємо значення відносної похибки:

$$\nu = \frac{284{,}87 - 300}{300} \cdot 100\% = -5{,}04\%.$$

Перевіряємо знаходження результату розрахунків у потрібних межах:

$$-10\% < \nu < +20\%,$$

Загальна кількість світильників становить 5х7 =35 шт.

Повторюємо аналогічні розрахунки для інших відділень. В таблиці 2.4 наведено вихідні параметри для всіх відділень ремонтно-механічного цеху при виконанні системи освітлення на базі світлодіодних світильників.

Таблиця 2.4 – Вихідні параметри для розрахунку системи освітлення ремонтно-механічного цеху.

Найменування приміщення	*A*, м	*B*, м	*H*, м	h_c, м	$h_р$, м	$\rho_{ст}$, %	ρ_c, %	$\rho_п$, %	*kз*	*z*
Механічне відділення	40	30	5,8	0,8	0,8	50	30	10	1,5	1,15
Відділення бакелі-тового покриття	33	16	5,8	0,8	0,8	50	30	10	1,5	1,15
Ремонтно-будівельне відділення	35	12	5,8	0,8	0,8	50	30	10	1,5	1,15
Зварювальне відділення	12	11	5,8	0,8	0,8	50	30	10	1,5	1,15
Пресове відділення	30	12	5,8	0,8	0,8	50	30	10	1,5	1,15

В таблиці 2.5 представлено результати розрахунків.

Таблиця 2.5 - Світлотехнічна відомість для ремонтно-механічного цеху.

Найменування приміщення	*S*, м^2	Тип світильника	$Ф_л/P$, Лм/Вт	E_{min} , Лк	Кількість світильників
Механічне відділення	1200	СЕС 8-126	18500	300	35
Відділення бакелітового покриття	530	СЕС 8-126	18500	200	12
Ремонтно-будівельне відділення	420	СЕС 8-126	18500	200	8
Зварювальне відділення	132	СЕС 8-100	15700	200	3
Пресове відділення	360	СЕС 8-126	18500	200	8

В ремонтно-механічному цеху встановлено 2 типу світильників, основні технічні характеристики яких представлено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6- Технічні характеристики світильників СЕС 8-100 та СЕС 8-126.

№	Параметр/модель	Одиниця виміру	СЕС 8-100	СЕС 8-126
1	Номінальна потужність	Вт	100	130
2	Номінальна напруга живлення	В	~ 110 ... 305 В 47...63 Гц або 155 ... 431 В	
3	Стійкість до перенапруг	В	~ 420 В або 560 В	
4	Коефіцієнт потужності	-	> 0,9	> 0,9
5	Світловий потік (в залежності від потужності)	лм	15700/14150	18500/16650
6	Колірна температура	К	4000/5000	4000/5000
7	Індекс передавання кольору	-	CRI ≥ 70	CRI ≥ 70
8	Наявність пульсацій	-	≤ 1%	≤ 1%
9	Тип джерела світла		Світлодіодна матриця	
10	Середній ресурс роботи світильника	год	100 000	100 000
11	Варіанти кріплення		Консольне, підвісне, стельове, прожекторне, на стіну	
12	Розміри	ДхШхВ,мм	не більше 500х280х130 мм	
13	Вага	кг	не більше 5,8	не більше 5,8

2.3.3. Розрахунок евакуаційного освітлення.

Безпечна евакуація персоналу проводиться, у разі потреби, при ввімкненому евакуаційному освітленні. Наявність евакуаційного освітлення обов’язкова при кількості робітників більше 50 чоловік, або коли вихід з приміщення утруднено. Норма мінімальної евакуаційної освітленості становить 0,5 лк, при улаштуванні всередині приміщення.

Виконаємо розрахунок за допомогою точкового методу, при цьому будемо використовувати просторові ізолюкси (рис.2.3) . Приймаємо, що потік від лампи у кожному світильнику - 1000 Лм. Якщо використовуються багатолампові світильники, то 1000 Лм дорівнює сумарний потік ламп. Створена таким чином освітленість (позначається *e*) називається умовною. Величина умовної освітленості визначається геометричними розмірами та світлорозподіленням світильника. Для цього на графіку просторових ізолюкс позначаємо крапкою геометричні розміри *d* та *h* і, тоді, *e* знаходимо методом інтерполяції між значеннями, які вказані для найближчих ізолюкс.

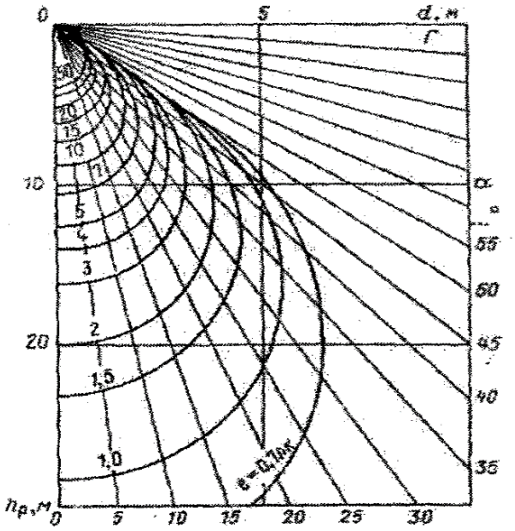


Рисунок 2.3 – Зображення просторових ізолюкс для умовної горизонтальної освітленості (світильник КСС типу Г).

У випадку, коли значення *d* і *h* виходять за межі шкал, допускається збільшувати або зменшувати ці координати в *n* разів, таким чином, щоб потрібна точка опинилася у межах графіка. Після цього, отримане за графіком значення *e* потрібно збільшити або зменшити у n^2 разів.

Позначимо сумарну освітленість в контрольній точці від найближчих світильників - Σ*e*, вплив світильників, що розташовані далі та відбиту складову, враховуємо коефіцієнтом μ. Щоб отримати в контрольній точці освітленість Е, потрібно мати потік лампи в кожному світильнику:

$$\Phi = \frac{1000 \cdot E \cdot k_З}{\mu \cdot \sum e} \quad . \tag{2.6}$$

Відстань *d* встановлюється за масштабним планом. Результати розрахунків показано в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Визначення умовної освітленості.

Параметр	Точка А		Точка В		Точка С	
d,м	18	14	16	16	20	10
e,Лк	0,15	0,3	0,22	0,22	0,07	0,4
Σe, Лк	0,45		0,44		0,47	

Вибираємо для евакуаційного освітлення світлодіодні універсальні світильникі типу УСС-15 з номінальною потужністю 15 Вт та значенням світлового потоку 2400 лм.

$$E_A = \frac{2400 \cdot 1{,}1 \cdot 0{,}45}{1{,}3 \cdot 1000} = 0{,}914 \text{ Лк};$$

$$E_B = \frac{2400 \cdot 1{,}1 \cdot 0{,}44}{1{,}3 \cdot 1000} = 0{,}894 \text{ Лк};$$

$$E_C = \frac{2400 \cdot 1{,}1 \cdot 0{,}47}{1{,}3 \cdot 1000} = 0{,}954 \text{ Лк}.$$

Порівняємо отримані результати з мінімальною освітленістю для евакуаційного освітлення - 0,5 Лк. Умова виконується для всіх трьох точок. Розміщення евакуаційних світильників наведено на рис.2.4.

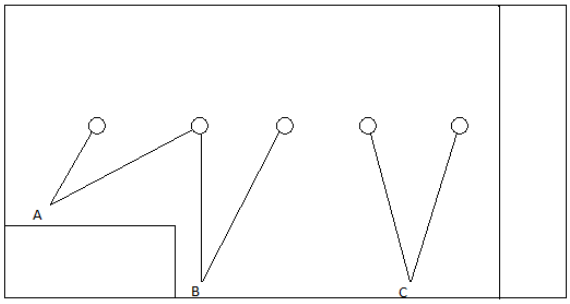


Рисунок 2.4 – Розміщення евакуаційних світильників.

2.4 Виконання електричного розрахунку системи освітлення РМЦ

Потрібно забезпечити наступні вимоги при виборі схеми живлення освітлювальної установки: безперебійність дії освітлювальної установки, зручність і безпека керування, експлуатації та обслуговування, техніко-економічні показники.

Типові види схем: радіальна; магістральна; змішана. В кваліфікаційній роботі використовується магістральна схема. У складі освітлювальної мережі розрізняють живлячі та групові лінії. Живлячі лінії з’єднують джерело живлення та груповий щиток, групові лінії з’єднують групові щитки та світильники. Для

електропостачання аварійного освітлення використовуються окремі лінії від щитів підстанції. Виконання живлячих ліній чотирьохкабельне (довжина не більше 80 м), іноді трьохкабельне (не більше 30-35 м). Кабелі мідні – марки ВВГ.

Джерелом живлення ремонтно-механічного цеху являється трансформаторна підстанція (ТП) з потужністю трансформаторів $S_{нт}$ = 1000 кВ·А; коефіцієнт завантаження $\beta_т$ = 0,79; коефіцієнт потужності $cos\varphi$ = 0,87.

Визначаємо допустиме значення втрати напруги в мережі освітлення:

$$\Delta U_{доп}^{тп} = U_{нх} - U_{\min} - \Delta U_{т} = 105 - 95 - 2{,}849 = 7{,}151\%,$$

де $U_{нх}$ – напруга неробочого ходу (нх) на шинах НН трансформатора, приймаємо $U_{нх}$= 105%;

$U_{\min}$ – значення мінімально допустимої напруги для найбільш віддаленого світильника, приймаємо $U_{\min}$ = 95%;

$\Delta U_т$ – втрати напруги в трансформаторі, від якого отримує живлення ОУ,%.

Розраховуємо значення втрати напруги в трансформаторах за прийнятими вихідними даними за формулою:

$$\Delta U_T = \beta_T \cdot (U_{ka} \cdot \cos\varphi + U_{kp} \cdot \sin\varphi) =$$
$$= 0{,}79 \cdot (1{,}211 \cdot 0{,}872 + 5{,}362 \cdot 0{,}490) = 2{,}849\%,$$

де $\beta_т$ – значення коефіцієнту завантаження трансформатора;

$U_{ка}$ та $U_{кр}$ – значення активної та реактивної складових напруги КЗ, %;

$cos\varphi$ – значення коефіцієнту потужності трансформатора.

Значення $U_{ка}$ та $U_{кр}$ розраховуються за формулами:

$$U_{ка} = \frac{\Delta P_{кз}}{S_{ном}} \cdot 100 = \frac{12{,}1}{1000} \cdot 100 = 1{,}21\%,$$

$$U_{кр} = \sqrt{U_к^2 - U_{ка}^2} = \sqrt{5{,}5^2 - 1{,}21^2 = 5{,}36},$$

де $\Delta P_{кз}$ – втрати КЗ, кВт;

$S_{ном}$ – номінальна потужність трансформатора, кВ·А;

$U_к$ – напруга *КЗ*; $U_к$ = 5,5 %.

Складаємо розрахункову схему для освітлювальної мережі (рис.2.5):

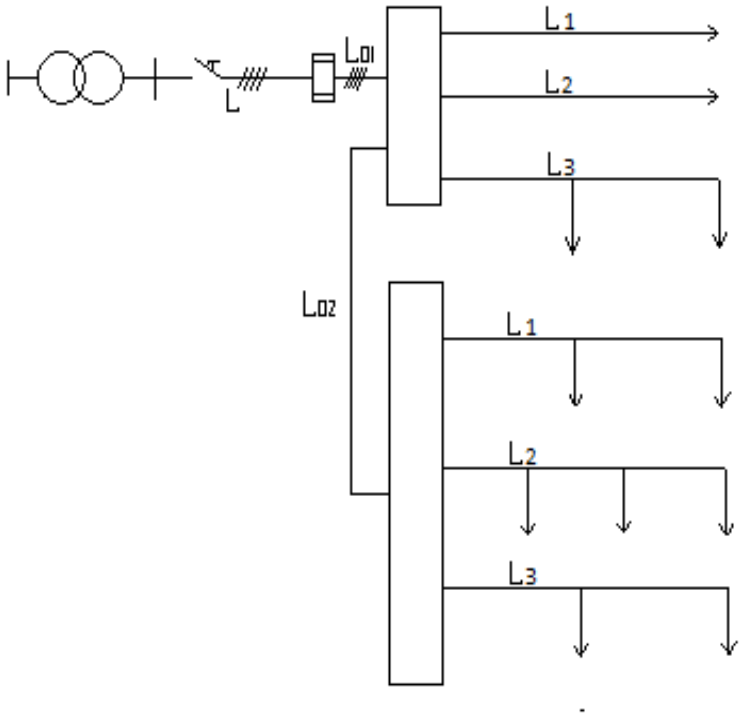


Рисунок 2.5 - Розрахункова схема освітлювальної мережі РМЦ.

Переріз проводів мережі (S, мм^2) визначається за формулою:

$$S = \frac{\Sigma M + \alpha \Sigma m}{C \cdot \Delta U}, \tag{2.7}$$

де ΣM - сума моментів ділянки, що розраховується та наступних ділянок з однаковим числом проводів у лінії, кВт·м;

Σm – сума моментів відгалужень, кВт·м;

C – коефіцієнт, який залежить від напруги, схеми живлення і матеріалу провідника, [4];

ΔU – допустимі втрати напруги в мережі, %;

α – значення коефіцієнту приведення моментів (наведено в таблиці 2.8).

Таблиця 2.8 – Коефіцієнт приведення моментів α

Лінія	Відгалуження	Значення коефіцієнта α
Трифазна з нулем	Однофазне	1,85
Трифазна з нулем	Однофазне з нулем	1,38
Двохфазна с нулем	Однофазне	1,33
Трифазна	Двохфазне	1,15

У випадку, коли лінія та відгалуження мають однакове виконання, то α = 1.

Спочатку визначаємо розрахункове навантаження для вводу за формулою:

$$P_p = K_n \cdot \sum_{i=1}^{n} \cdot K_{пра} \cdot P_{номі} = \\ = 1 \cdot (130 \cdot (35 + 12 + 8 + 8) + 100 \cdot 3) \cdot 1{,}2 = 10{,}188 кВт,$$

де $K_п$ – значення коефіцієнту попиту, $K_п$ =1;

$K_{пра}$ – значення коефіцієнту втрат в пускорегулювальній апаратурі, для світлодіодних ламп, $K_{пра}$ = 1,2;

$P_{ном\ і}$ – значення номінальної потужності лампи.

Довжина лінії від джерела живлення до *ЩО*-1: L_{01}=15 м, від *ЩО*-1 до *ЩО*-2 : L_{02}=41 м.

Визначаємося з розподілом світильників, які підключені до щитку *ЩО*-1.

До участку *L*1 підключено 18 світильників з лампами потужністю 130 Вт, довжина лінії *l*=6 м.

$$P_{гр1}=18\cdot P_л\cdot K_{пра}=18\cdot 130\cdot 1{,}2=2{,}808 \text{ кВт};$$

$$M_1= P_{гр1}\cdot l=2{,}808\cdot 6=16{,}848 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

До участку *L*2 підключено 17 світильників, потужність лампи 130 Вт, довжина лінії *l*=18 м.

$$P_{гр2}=17\cdot P_л\cdot K_{пра}=17\cdot 130\cdot 1{,}2=2{,}652 \text{ кВт};$$

$$M_2= P_{гр2}\cdot l=2{,}652\cdot 18=47{,}736 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

Участок $L3$ має 3 світильника, потужність лампи 100 Вт, довжина лінії l=28 м.

$$P_{гр3}=3\cdot P_{л}\cdot K_{пра}=3\cdot 100\cdot 1{,}2= 0{,}468 \text{ кВт};$$

$$M_3= P_{гр3}\cdot l=0{,}468\cdot 28=13{,}104 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

Аналогічно визначаємо власні моменти на груповому щитку ЩО-2: $P_{р2}$=4,68 кВт. Визначаємо моменти для ділянок:

$$M_{O1}= P_{р}\cdot L_{01}=10{,}18\cdot 15=152{,}82 \text{ кВт}\cdot\text{м};$$

$$M_{O2}= P_{р}\cdot L_{02}=4{,}68\cdot 21=98{,}28 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

Визначаємо приведений момент навантаження на живлячих лініях:

$$M_{пр} = \Sigma M+\Sigma\alpha\cdot m = 152{,}82+1{,}85\cdot(98{,}28+16{,}848+47{,}736+13{,}104) =$$

$$= 478{,}36 \text{ кВт}\cdot\text{м}.$$

Розраховуємо перерізи живлячих ліній для ЩО-1та ЩО-2.

Площу перерізу живлячої лінії розраховуємо по формулі:

$$S=M_{пр}/(C\cdot\Delta U_{доп}) =651{,}52/(72\cdot 7{,}151) =1{,}56 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо S=2,5 мм^2.

Визначаємо дійсну втрату напруги:

$$\Delta U_{1\text{-}2} = M_{пр}/(C\cdot S_{1\text{-}2}) = 651{,}52/(72\cdot 2{,}5) = 3{,}62\%$$

Вибираємо переріз провідника за нагрівом:

$$P_{р}= P_{гр1}+ P_{гр2}+ P_{гр3}+P_2=2{,}808+2{,}652 +0{,}468+4{,}368 =10{,}188 \text{ кВт}$$

Струм трифазного навантаження визначається за формулою:

$$I_p = \frac{P_P}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi} = \frac{10{,}188}{1{,}73 \cdot 0{,}38 \cdot 0{,}95} = 17{,}75 A.$$

Обираємо кабель ВВГ (мідний) 3х2,5 мм² . $I_{доп.}$ = 35А > $I_р$, таким чином, переріз по нагріву проходить.

Для живлячої групи приймаємо захисний автомат EB2S 160/3LF 25A 3p; Iр = 25А.

Узгоджуємо прийнятий захисний апарат з перерізом провідника:

$I_{доп\ пр.} \geq I_{уст.кз} \cdot K_з$; 35 > 25·1,3 = 32,5 А.

Визначаємо переріз групових ліній

ΔU=7,151 – 3,62 = 3,531%.

Для лінії L1 приміщення механічного відділення:

$P_{гр1}$=2,808 кВт; M_1=16,848 кВт·м;

$$S = \frac{M_1}{C \cdot \Delta U} = \frac{16{,}848}{12 \cdot 3{,}531} = 0{,}397 \text{ мм}^2$$

Вибираємо переріз провідника по нагріву:

$P_р$= $P_{гр1}$=2,808 кВт (однофазне навантаження)

$$I_P = \frac{P_P}{U_{ном} \cdot \cos\varphi} = \frac{2{,}808}{0{,}22 \cdot 0{,}95} = 13{,}43\ A$$

Вибираємо кабель ВВГ 3×1,5 мм²

$I_{доп.}$ = 27А > $I_р$, таким чином, переріз по нагріву проходить.

Фактичне падіння напруги з врахуванням стандартного перерізу:

$$\Delta U_ф = M / c \cdot S_{пр} = 16{,}848 / 12 \cdot 2{,}5 = 0{,}936\ \%$$

Для живлячої групи обираємо захисний автомат ETIMAT P10,

Iр = 16А.

Узгоджуємо вибраний апарат з перерізом провідника:

$I_{доп\ пр.} \geq I_{уст.кз} \cdot K_з$; 27 > 16·1,3 = 20,8 А.

Для лінії $L2$ механічного відділення та $L3$ допоміжного приміщення розрахунки аналогічні, результати зведено в таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 - Вибрані перерізи проводів.

№ лінії	Переріз кабелю	$I_{доп\ пр}$, А	Автоматичний вимикач
L_{01} (до ЩО-1)	ВВГ 3×2,5 мм2	27	ETIMAT P10 1p B16
L_{02} (до ЩО-2)	ВВГ 3×2,5 мм2	27	ETIMAT P10 1p B16
L_1 (від ЩО-1)	ВВГ 2×1,5 мм2	19	ETIMAT P10 1p B16
L_2 (від ЩО-1)	ВВГ 2×1,5 мм2	19	ETIMAT P10 1p B16
L_3 (від ЩО-1)	ВВГ 2×1,5 мм2	19	ETIMAT P10 1p B16
L_1 (від ЩО-2)	ВВГ 2×1,5 мм2	19	ETIMAT P10 1p B16
L_2 (від ЩО-2)	ВВГ 2×1,5 мм2	19	ETIMAT P10 1p B16
L_3 (від ЩО-2)	ВВГ 2×1,5 мм2	19	ETIMAT P10 1p B16

В розділі кваліфікаційної роботи було виконано розрахунок природного та штучного освітлення для ламп ДРЛ та світлодіодних світильників. За результатами порівнянь, можна зробити висновок про доцільність використання сучасних світлодіодних світильників для РМЦ.

3 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ РМЦ

3.1 Сучасні методи моделювання ОУ

Основною метою комп'ютерної графіки було візуалізувати об'єкти, що описуються математичними моделями. Проте еволюція цієї галузі показала, що для досягнення фотореалістичного відтворення віртуальних об'єктів необхідно провести детальний розрахунок розподілу яскравості по їх поверхнях. З часом, акцент у дослідженнях комп'ютерної графіки зсунувся від геометричних побудов на екрані ЕОМ до точного визначення світлового поля яскравості в спостережуваному просторі. Процес розвитку комп'ютерної графіки призвів до формулювання жорстких рівнянь і впровадження ефективних алгоритмів для їх вирішення. Це викликало революційні зміни в теорії світлового поля, яке сьогодні суттєво переосмислює підходи до розрахунків освітлення об'єктів. У літературі з комп'ютерної графіки ця теорія точного моделювання яскравості поверхонь віртуальних об'єктів, враховуючи всі можливі оптичні процеси, отримала назву "глобальне освітлення" (global illumination) [30].

3.1.1. Використання в світлотехнічному проектуванні теорії глобального освітлення.

Реалістичне відтворення зображення віртуальних об'єктів повинно відповідати сприйняттю аналогічного дійсного об'єкту. Алгоритми комп'ютерної графіки (КГ) побудовані на основі розрахунку яскравості світлового поля, відтворюють візуалізацію розподілу яскравості у просторі. Для всіх моделей КГ будується 2 простори: двовимірний 2М- зображення на екрані та тривимірний 3М - об'єктів візуалізація.

Математична модель візуалізації об'єктів представляє собою фотометричний розрахунок світлового поля для заданого розміщення об'єктів, ДС та світлотехнічних характеристиках поверхонь. У фотометрії для опису взаємодії променів світла з поверхнею матеріалу визначається коефіцієнт яскравості. Цей коефіцієнт визначається як відношення яскравості поверхні в

конкретному напрямі до яскравості ідеально дифузної поверхні, яка перебуває в тих самих умовах освітлення. Очевидно, що цей коефіцієнт яскравості залежить від умов освітлення і не є виключно характеристикою матеріалу поверхні. Таким чином, коефіцієнт яскравості визначається для певних умов освітлення, і на практиці найбільш важливими є його значення при дифузному та направленому освітленні.

Для відтворення повної яскравості поверхні, її випромінювання, віддзеркалення та пропускання було запропоновано рівняння :

$$L(\mathbf{r},\hat{\mathbf{l}}) = L_0(\mathbf{r},\hat{\mathbf{l}}) + \frac{1}{\pi}\int L'(\mathbf{r},\hat{\mathbf{l}}')\sigma(\mathbf{r};\hat{\mathbf{l}},\hat{\mathbf{l}}')\left|\left(\hat{\mathbf{N}},\hat{\mathbf{l}}'\right)\right| d\hat{\mathbf{l}}' , \qquad (3.1)$$

де L_0 – значення яскравості власного випромінювання;

L' - значення яскравості променів, що падають на поверхню випромінювання.

Вперше в КГ це рівняння було отримане Kajiya J.T. в 1986 році та назване ним рівнянням візуалізації.

Інтегральне рівняння (13.1) охоплює всі фотометричні явища на межі об'єктів ЗМ сцени, такі як дифузно-дзеркальне віддзеркалення, пропускання та власне випромінювання. Воно враховує всі можливі акти перевідображень і пропускання світла в сцені, що забезпечує фізично адекватний розподіл яскравості в спостережуваній реальній сцені. У відміну від підходу глобального освітлення, на початковому етапі розвитку комп'ютерної графіки для створення зображень ЗМ сцен намагалися враховувати або повне ігнорування ефектів багаторазового відбиття (пропускання) поверхонь сцени, або врахування тільки першого відбиття - локальне освітлення (local illumination) [5].

Для дифузного віддзеркалення та пропускання рівняння (3.1) буде мати вигляд:

$$M(\mathbf{r}) = M_0(\mathbf{r}) + \frac{\sigma(\mathbf{r})}{\pi}\int_{\Sigma} M(\mathbf{r}')F(\mathbf{r},\mathbf{r}')\Theta(\mathbf{r},\mathbf{r}')d^2r' . \qquad (3.2)$$

Таке рівняння має перевагу у тому, що невідома функція $M(\mathrm{r})$ визначається тільки координатами поверхні. Рішення рівняння (3.2) враховує не лише власне свічення поверхні, а також і віддзеркаленням падаючого на неї світла, тому характеризує як саму поверхню, так і властивості та положення інших поверхонь.

Метод розв'язання рівняння глобального освітлення, використовує визначення випромінювання - Radiosity, тому в літературі зустрічається дві назви цього методу: випромінювання та Radiosity. Важливою характеристикою методу випромінювання є його незалежність від положення спостерігача.

Рівняння (3.1) вирішується тільки для ідеалізованих ситуацій. Для вирішення практичних завдань застосовуються тільки чисельні методи. У загальному випадку сцени 3*M*, для визначення чисельних алгоритмів розв'язання рівняння глобального освітлення, застосовуються два основних підходи:

- метод випромінювання, що використовує заміну інтеграла кінцевою сумою із використанням потрібної формули. Це дозволяє привести інтегральне рівняння до вигляду системи лінійних алгебраїчних рівнянь;

- метод трасування, де використовується розкладання вирішення в ряд Неймана.

Використання методу трасування променів дозволяє застосовувати довільний закон віддзеркалення, тоді як метод випромінювання обмежується лише розрахунком дифузного віддзеркалення. Але, метод трасування променів дозволяє отримувати зображення лише з певного ракурсу. Таким чином, для обчислення сцени з урахуванням множинних дифузних відбиттів, у більшості сучасних програм КГ використовується метод випромінювання. Проте, для кінцевого відображення конкретного кута огляду (проектування сцени на екран дисплея) застосовується зворотний хід трасування променів, що дозволяє враховувати як дифузні, так і дзеркальні відбиття. Такий розрахунок можна доповнити методом прямого ходу променів, який істотно покращує видимість тіней у зображенні сцени.

3.1.2. Основні програми світлотехнічних розрахунків та їх функції.

У перших програмах візуалізації використовувалися локальні моделі освітлення, у яких завдання видимості поверхні розглядалося незалежно від затінювань поверхні. Такі локальні моделі освітлення, як правило, вважають, що джерелом світла є кінцеве число точкових джерел освітлення і відбитим світлом можна знехтувати.

Розрахунки прямого освітлення виконуються достатньо просто, проте безпосередньо не освітлені об'єкти виглядають чорними, тоді як тіні інтенсивно обрамляються або взагалі не моделюються.

Розрахунки в глобальних моделях освітлення пов’язують між собою видимість та затінювання, тобто значення яскравості точки на поверхні враховує розподіл яскравості інших поверхонь, які видимі з цієї точки. Таке моделювання зображення дозволяє створити півтіні та шорсткість, освітлення перевідбитим світлом, колірні ефекти та властивості відображення реальних матеріалів.

В наш час, у світовій практиці, для проектування ОУ використовують для моделювання та розрахунку спеціалізовані комп'ютерні світлотехнічні програми (КСП). Протягом останніх 15-20 років на ринку світлотехнічного програмного забезпечення з'явилася велика кількість світлотехнічних програм, що відрізняються за спеціалізацією та рівнем розрахунків.

Проаналізуємо, порівняємо і надамо оцінку основним комп'ютерним програмам, які застосовуються в проектній практиці. Для правильного виконання світлотехнічних розрахунків та зручності роботи в програмі, вона повинна виконувати певні функції.

Дуже важливою умовою є зрозуміле та зручне виконання інтерфейсу програми, що дозволить обучити цій програмі велику кількість проектувальників. Висуваються вимоги до бази даних світлового устаткування, яка повинна відповідати вимогам до сучасного світлотехнічного обладнання і дозволяти додатковий набір світильників сторонніх виробників. Програма повинна надавати користувачеві повний набір світлотехнічних параметрів, таких як освітленість, ізолюкси, яскравість, показник дискомфорту, тощо. Бажана

точність розрахунків не менше 10% . Важливою умовою є візуалізація результатів розрахунків. В програмі повина бути можливість побудови 3*d* сцен, або передбачений їх імпорт з спеціалізованих 3d редакторів. В програмі повина бути надана можливість активного діалогу при виконанні ітераційного розрахунку освітлювального устаткування та вибору кращого варіанту. Бажано використання у світлотехнічних розрахунках параметрів, які регламентуються у нормативних документах, для їх подальшого використання у проектній документації.

Це лише обмежений перелік вимог, які необхідно враховувати при розробці високоякісної світлотехнічної програми. Очевидно, що створення програми, яка відповідає всім цим вимогам, не лише технічно складне і витратне, але й неефективне. Тому більшість програм зазвичай мають вузьку спеціалізацію. Наприклад, деякі ідеально підходять для створення візуальних картинок та анімаційного відео, внутрішнього та архітектурного освітлення. Інші дозволяють якісно розраховувати дорожні розв'язки та магістралі або задовольняти потреби проектних електротехнічних організацій та бюро.

Найбільш поширені на ринку програмного забезпечення світлотехнічні програми: *Dialux*, *Lightscape* і *3D Studio Viz 4* компанії *Autodesk*, *Relux 2.4* , компаній Informatic AG, *Light – in – Night* і програма *Winelso-light*. В таблиці 3.1 надано порівнювальний аналіз найбільш розповсюджених програм.

Таблиця 3.1 - Основні характеристики окремих світлотехнічних програм.

		Dialux 3.1	**Lightscape 3.2**	**3DViz 4**
1	*Посилання*	www.dialux.de	www.lightscape.com	http://usa.autodesk.com
2	*Використання*	Безкоштовно	платно	платно
3	*Побудова власної бази світильників*	Так	Так	Так
4	*Вибір декількох типів проектів*	Так	Немає	Немає
5	*Рендринг*	Так	Так	Так
6	*Складність в експлуатації*	Легко	Важко	Важко
7	*Розроблення робочої документації*	Так	Нет	Нет
8	*Моделювання природнього світла*	Немає	Так	Так
9	*Підтримування форматів ies, ldt*	*ies, ldt*	*ies*	*ies*
10	*Підтримування форматів 3ds, dxf*	dxf	3ds, dxf	3ds, dxf
11	*Можливість роботи з матеріалами та текстурами і можливість створення власних*	Середня	Висока	Висока
12	*Створення анімаційного відео*	Немає	Так	Так
13	*Установки розрахункових параметрів*	Немає	Так	Так
14	*Рівень реалізації 3М редактора*	Середній	Середній	Високий

Продовження таблиці 3.1.

		Relux 2.4	**WinElso**	**Light - In - Night (Road)**
1	*Посилання*	www.relux.biz	www.cad.ru	www.svetosrv.ru
2	*Використання*	платно	платно	Не розповсюджується
3	*Побудова власної бази світильників*	Так	Так	Так
4	*Вибір декількох типів проектів*	Так	Немає	Немає
5	*Рендринг*	Нет	Немає	Немає
6	*Складність в експлуатації*	Середня	Легко	Легко
7	*Розроблення робочої документації*	Так	Так	Немає
8	*Моделювання природнього світла*	Немає	Немає	Немає
9	*Підтримування форматів ies, ldt*	*ies, ldt*	Немає	Немає
10	*Підтримування форматів 3ds, dxf*	Немає	dxf	Немає
11	*Можливість роботи з матеріалами та текстурами і можливість створення власних*	Середня	Низька	Низька
12	*Створення анімаційного відео*	Немає	Немає	Немає
13	*Установки розрахункових параметрів*	Немає	Немає	Немає
14	*Рівень реалізації 3М редактора*	Середній	Високий	Низький

Аналізуючи приведені параметри, слід зазначити, що для проведення розрахунків в кваліфікаційній роботі краще підходить програма «DIALux».

3.1.3. Програма світлотехнічних розрахунків «DIALux».

Ця програма створена Німецьким інститутом прикладної світлотехніки, постійно покращується, починаючи з 1994 року. Програма вільно поширюється в мережі Інтернет, інтегрована на всі платформи Windows, дозволяє безкоштовне завантаження з сайту (www.dialux.com), в повному об'ємі із документацією.

Перевагою даної програми є простота введення інформації, отримання результатів розрахунків та наочність. Крім основного прямого світлового потоку, який поступає на робочу поверхню, враховується світловий потік, що відбивається та переломлюється від стелі та стін, інших предметів у приміщенні. В програмі можливо виконувати розрахунок освітленості та здійснювати контроль показників якості освітлення, таких як рівномірність освітлення, насиченість приміщення світлом та горизонтальна освітленість.

Програма дозволяє здійснювати наступні види проектів: дизайн інтер’єру, зовнішнє та внутрішнє освітлення, сцени освітлення, вуличне освітлення, природне та аварійне освітлення. Цікавою функцією програми являється можливість енергетичної оцінки системи освітлення.

Побудова моделі приміщення. Після запуску програми вибирається один з трьох стандартних варіантів світлотехнічних розрахунків. Це може бути інтер'єр, зовнішнє або вуличне освітлення. Наприклад, для моделювання приміщення створюємо проект інтерьерного освітлення. У вікні редактора приміщення позначаємо геометричні параметри приміщення: його довжину, ширину та висоту. При використанні спеціальної панелі вибирається двовимірне або тривимірне зображення приміщення.

Далі вказуються фотометричні параметри внутрішніх поверхонь приміщення: стелі, стін та підлоги. Надається можливість встановлення в сцені робочої поверхні, на поверхні якої можуть бути розраховані значення світлотехнічних параметрів. Задаються значення коефіцієнтів віддзеркалення поверхонь.

Програма дозволяє створювати фотореалістичні зображення, вибирати колір та коефіцієнт віддзеркалення поверхонь, накладати текстури.

Далі потрібно визначитися із джерелом світла, що буде використовуватися в розрахунках та здійснити підготовку до розрахунку сцени. Для цього користуємося закладкою: вибір світильників, власний банк даних. В цьому випадку завантажується модель КСС із раніше збережених нами файлів КСС. Отримаємо деяку модель точкового світильника.

Для створення лінійних та площинних моделей, пропонується використовувати файли із вже наявних в базі світильників, для зміни та введення в них потрібних КСС.

Розрахунок та вибір параметрів. Програма реалізує швидкий світлотехнічний розрахунок сцени, має невеликі можливості стосовно зміни розрахункових параметрів, які відповідають за візуалізацію сцени.

Існує можливість налаштування параметру «Розрахункового растру», що можливо задавати для всіх об'єктів та поверхонь сцени. Зменшення значення растру приводить до більш якісного розрахунку та візуалізації, зі збільшенням часу розрахунку. Самі значення світлотехнічних розрахункових параметрів будуть незначно відрізнятися від середнього розрахункового значення, у межах

±2%. Не варто розміщувати багато поверхонь та фурнітури, це істотно впливає на час розрахунків.

Далі запускаємо сам розрахунок відповідною іконкою у лівому куті вікна програми. Після закінчення розрахунків, потрібно обрати частину розрахункового проекту. Це може бути значення освітленості та яскравості на вибраній поверхні, опис використовуваних світильників. Результати розрахунків можуть бути отримані на екрані або роздруковані, наприклад, на рис. 3.1 представлено вивід результатів розрахунку на екран. Представлено освітленість поверхні підлоги, з табличним виводом значень.

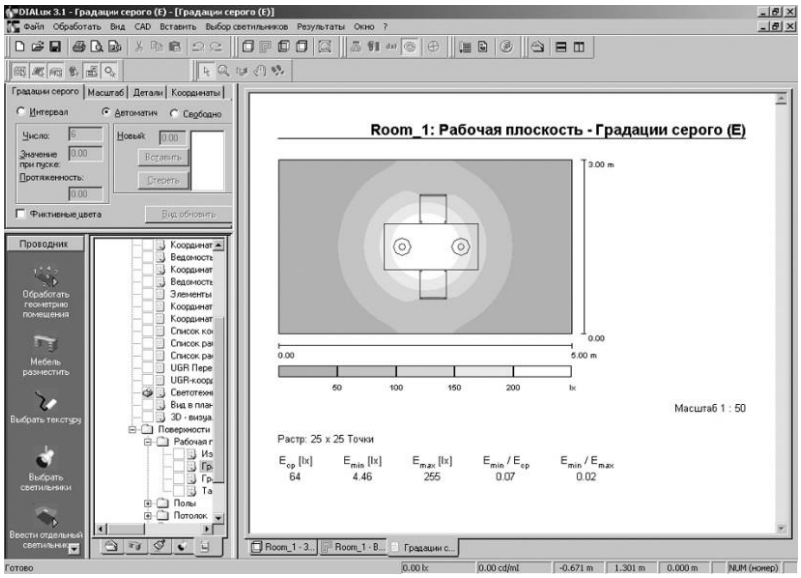


Рисунок 3.1- Отримані результати розрахунків в Dialux.

В посібнику [5] надано дуже детальні і доступні рекомендації по роботі з програмою.

Окремо потрібно відзначити функцію програми, яка дозволяє проводити енергетичну оцінку проекту. Програма забезпечує підтримку планування та розрахунків освітлення, що відповідають європейським стандартами DIN 18599 та EN 15193. Для виконання енергетичної оцінки проекту в програмі потрібно вибрати меню *Провідника*, в якому задаються необхідні параметри (рис.3.2).

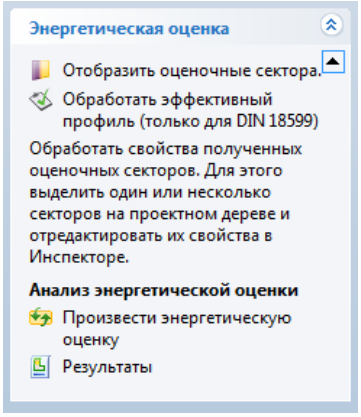


Рисунок 3.2 - Меню *Провідника* для налаштування параметрів проведення енергетичної оцінки проекту.

Форму виведення результатів розрахунків енергетичної оцінки проекту, що відповідають стандарту EN 15193, представлено на рис. 3.3.

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

Рисунок 3.3 – Результати розрахунків енергетичної оцінки проекту освітлення.

Для проведення розрахунків енергетичної оцінки використовуються параметри та стандарти, що інтегровані в саму програму, а також інформація, яка була введена користувачем при плануванні освітлення, така як дані про природнє освітлення, параметри приміщення, джерела світла.

3.2 Моделювання природного та штучного освітлення МВ РМЦ в програмному комплексі «DIALux»

В кваліфікаційній роботі розрахунок освітлення механічного відділення РМЦ було виконано у програмному комплексі «DIALux» (версія DIALux 4.13).

На початку проектування потрібно задати основні параметри ділянки цеху, до яких відносяться: довжина та широта відділення, його висота, розміщення та розміри дверей, вікон і колон. Крім цього, обов’язково вказати розміщення виробничого обладнання та висоту розрахункової поверхні. Зображення розміщення об’єктів в програмі наведено на рис.3.4.

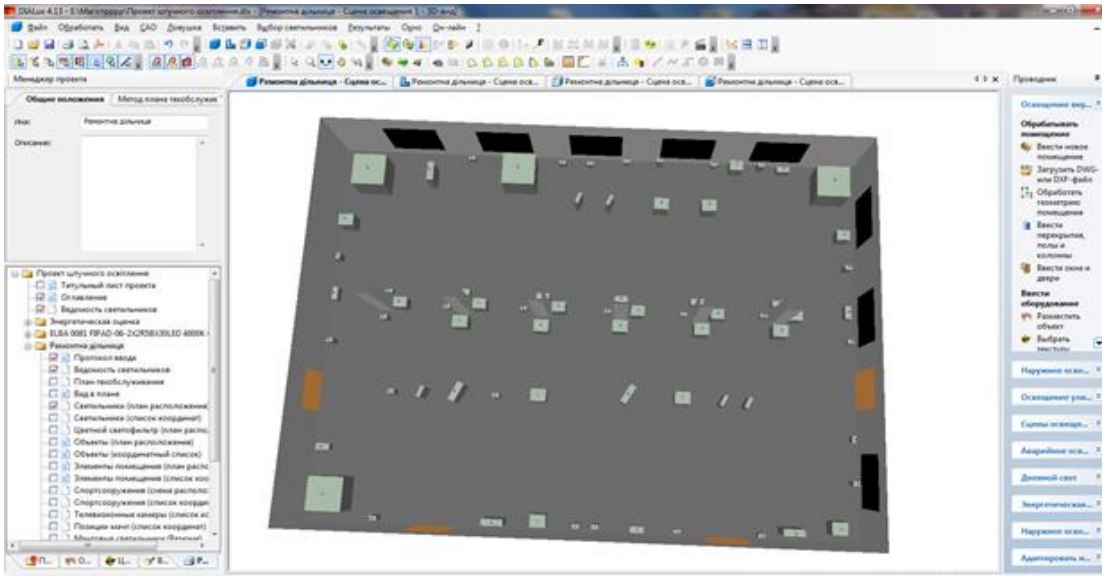


Рисунок 3.4 - Зображення розміщення об’єктів для механічного відділення РМЦ

Робота в програмі дозволяє налаштовувати чотири основних зображення об’єкту: вигляд спереду та збоку, вигляд в плані та тривимірний вигляд. Ці види зображень для механічного відділення РМЦ наведено на рис.3.5. Крім того, можливо виконувати додаткові операції: вибір масштабу та переміщення об’єктів, обертання чи розміщення об’єктів всередині або ззовні.

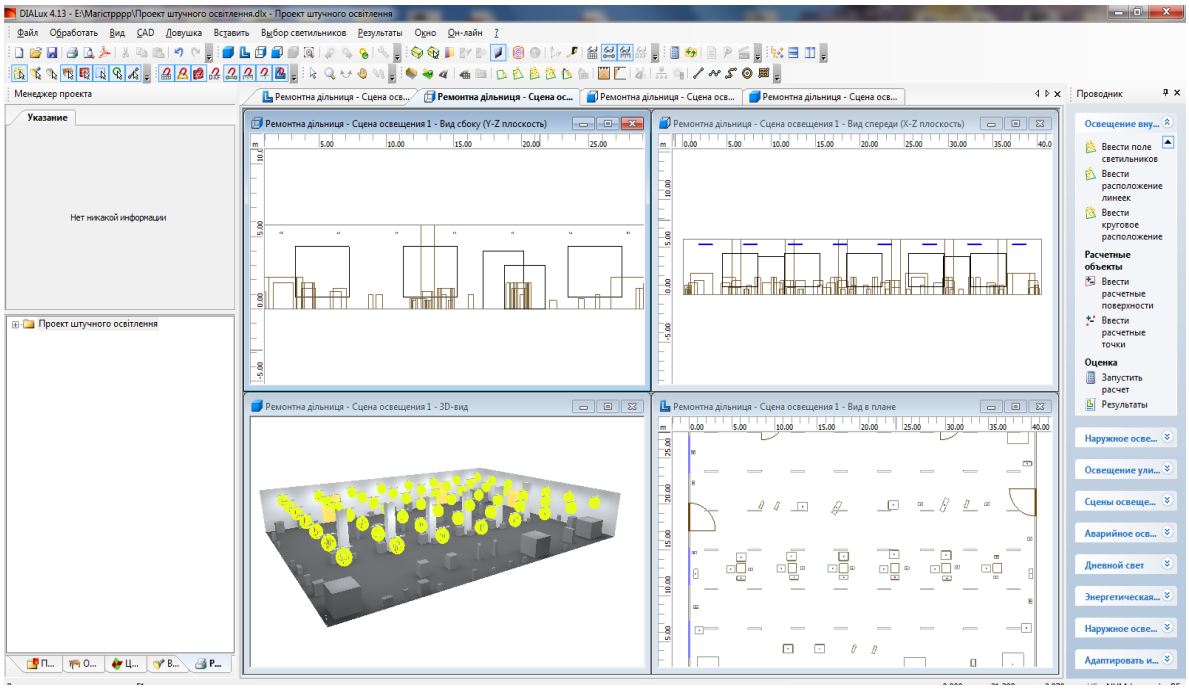


Рисунок 3.5 - Можливі зображення основного об’єкту.

Вибираємо план відділення з нанесенням обладнання (рис.3.6).

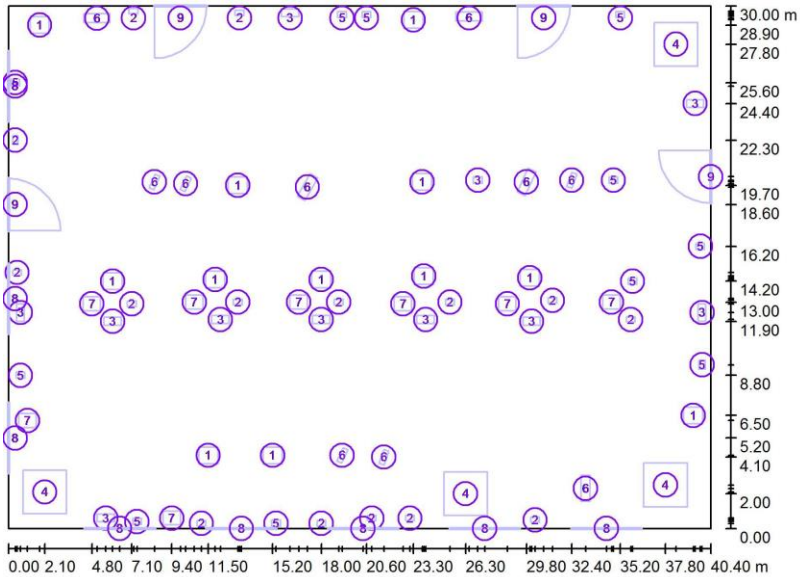


Рисунок 3.6 - План механічного відділення з нанесенням обладнання.

В таблиці 3.2. представлено перелік обладнання механічного відділення, а в таблиці 3.3 – характеристика самого відділення.

Таблиця 3.2- Перелік обладнання механічного відділення.

№	Характеристика обладнання	Встановлена кількість
1	Дископравний верстат	12
2	Дуговий зварювальний автомат	5
3	Прес	11
4	Мийна машина	4
5	Вулканізатор	11
6	Компресор	10
7	Випробувальний стенд	8

Таблиця 3.3 - Характеристики відділення

Найменування	Позначення	Розмірність	Значення
Висота відділення	Н	м	5,8
Вісота кімнат, м	-	-	-
Коефіцієнт відбиття стін	$\rho_{ст}$	-	0,5
Коефіцієнт відбиття стелі	$\rho_{п}$	-	0,7
Коефіцієнт відбиття робочої поверхні	$\rho_{п}$	-	0,1

Потрібно також знати довжину та ширину відділення: 40,4 х 30 м. По периметру приміщення встановлені колони, на відстані 6 м. Тобто в програмі відділення буде задано прямокутною зоною з розміром 40,4 × 30м. Розрахункова висота - 5,8 м.

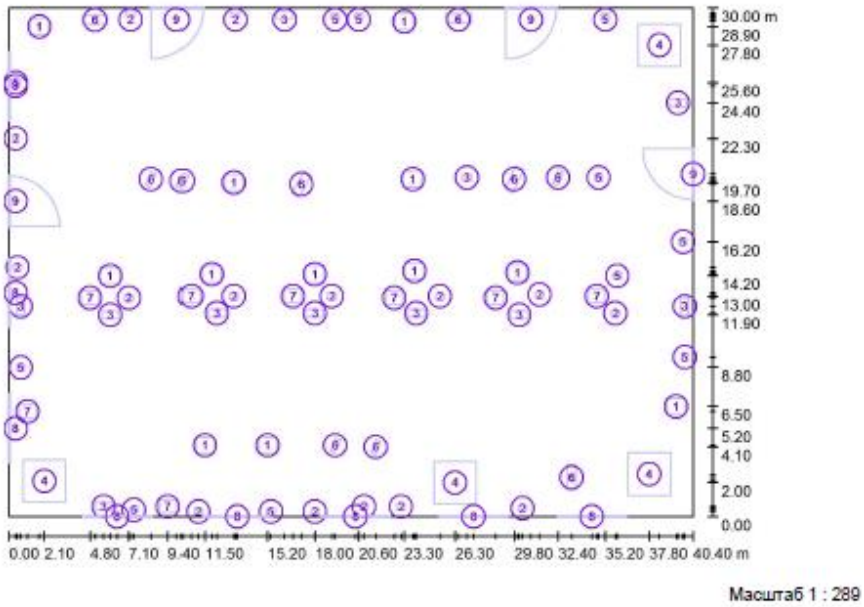
Роботи, що виконуються у МВ відносяться до 3-го розряду зорових робіт, відповідно до якого нормована освітленість системи загального освітлення становить 300 лк.

Визначаємося з параметрами мікроклімату. Приміщення відділення сухе, опалюється в зимовий час. В приміщенні встановлена припливно-витяжна вентиляції, через використання металорізального обладнання. Рівень пилу знаходиться на рівні нижче 1 мг/м^3.

Коефіцієнт запасу залежить від параметрів мікроклімату та обраного типу ДС і дорівнює 1,8.

3.2.1. Моделювання природного освітлення МВ РМЦ.

Розрахунок природного освітлення механічного відділення ремонтно-механічного цеху виконаний у програмі DIALux. На рис. 3.7 представлено розміщення обладнання дільниці, окна та двері. У відомості об’єктів надано найменування обладнання.



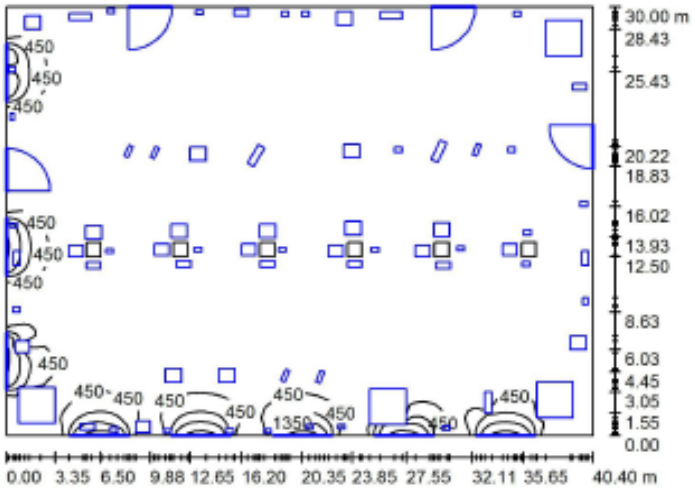
Ведомость объектов

№	Шт.	Обозначение
1	12	Дископравний верстат
2	15	Зварювальний дуговий автомат
3	11	Компресор повітряний
4	4	Машина для мийки деталей
5	11	Підкатний вулканізатор
6	10	Прес
7	8	Стенд випробувальний
8	8	Окно
9	4	Дверь

Рисунок 3.7 – Розміщення об’єктів МВ та їх відомість .

У результаті виконання світлотехнічних розрахунків отримані середні значення освітленості на розрахункових поверхнях обладнання, що складаються з прямої та відбитої освітленості. Загальну відомість світлотехнічних розрахунків для природного освітлення представлено у додатку А.

Далі виконано розрахунок максимальної та мінімальної природної освітленості для поверхонь підлоги, стелі та стін (рис.3.8).



Высота помещения: 5.800 m, Коэффициент эксплуатации: 0.80 Значения в Lux, Масштаб 1:386

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	147	4.06	2059	0.028
Полы	20	122	3.40	1026	0.028
Потолок	70	22	3.63	57	0.166
Стенки (4)	50	38	3.92	242	/

Рабочая плоскость:
Высота: 0.850 m
Растр: 128 x 128 Точки
Краевая зона: 0.000 m

Чистая сцена дневного освещения, без участия светильников.

Рисунок 3.8 - Розрахунок максимальної та мінімальної природної освітленості для поверхонь підлоги, стелі та стін.

Проведені розрахунки підтверджують необхідність штучного освітлення.

3.2.2. Моделювання штучного освітлення МВ РМЦ.

Далі необхідно виконати вибір світильників. Програма DIALux має власну базу світильників, для виконання розрахунків. У разі відсутності потрібного світильника, потрібно завантажити необхідну базу даних. В магістерській роботі виконується розрахунок для 2-х типів світильників, щоб визначити більш економічний варіант.

Спочатку розрахунки проводяться зі світильниками фірми ALBA (компанії AVA TECH) [10].

Серія " ELBA " промислових світлодіодних світильників була розроблена для заміни купольних світильників РСП-400. Цей світильник може бути використаний для світлодіодного освітлення об'єктів промисловості та складів. Встановлюється на тросових підвісах або в накладному варіанті. До основних переваг цієї серії слід віднести: споживану потужність не більше 120 Вт; не вимагає сервісного обслуговування; має ступінь захисту IP65; високий індекс передачі кольору; необмежений час безперервної роботи та термін служби 80 000 год.; миттєве запалення та відсутність мерехтіння; природне світло не викликає стомлення зору.

Враховуючи параметри мікроклімату та спосіб установки світильника вибираємо попередньо ELBA 0081 FIPAD-06-2X2R5BX30LED 4000K G2 PC 10100LM.

На рис.3.9 зображено вибір світильника у програмі, внесення його параметрів у лівій частині роздруківки. Вказується марка світильників, потужність, світловий потік. На сцені освітлення МВ позначено 3*D* уявлення розподілу світла.

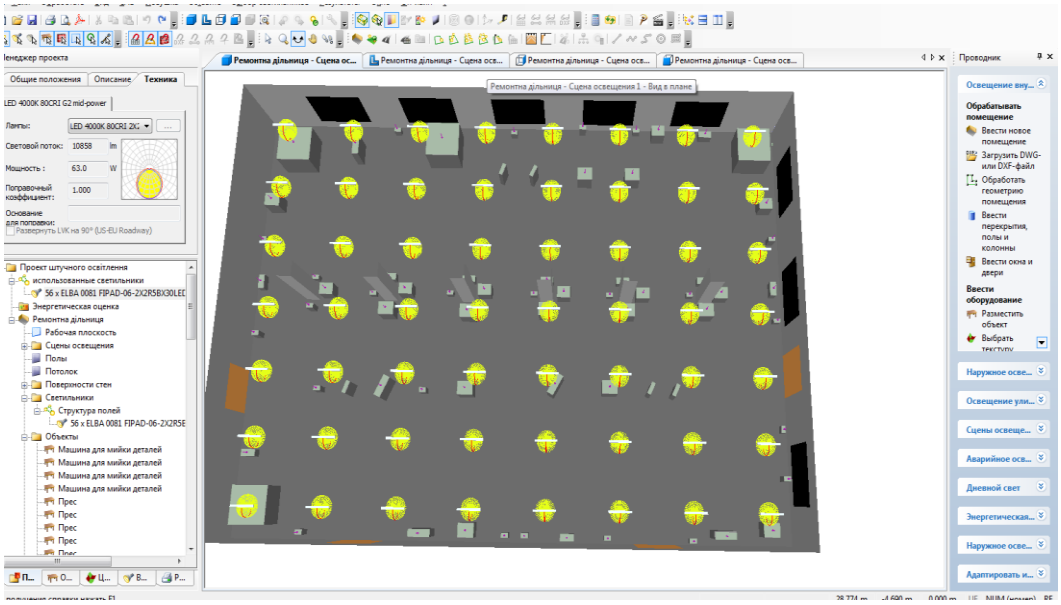


Рисунок 3.9 - Вибів світильників, 3*D* уявлення розподілу світла.

У програмі DIALux існує режим "Фіктивні кольори". Цей режим дозволяє наочно зручно оцінити рівень освітленості поверхонь в приміщення, що відповідає певному кольору (рис.3.10).

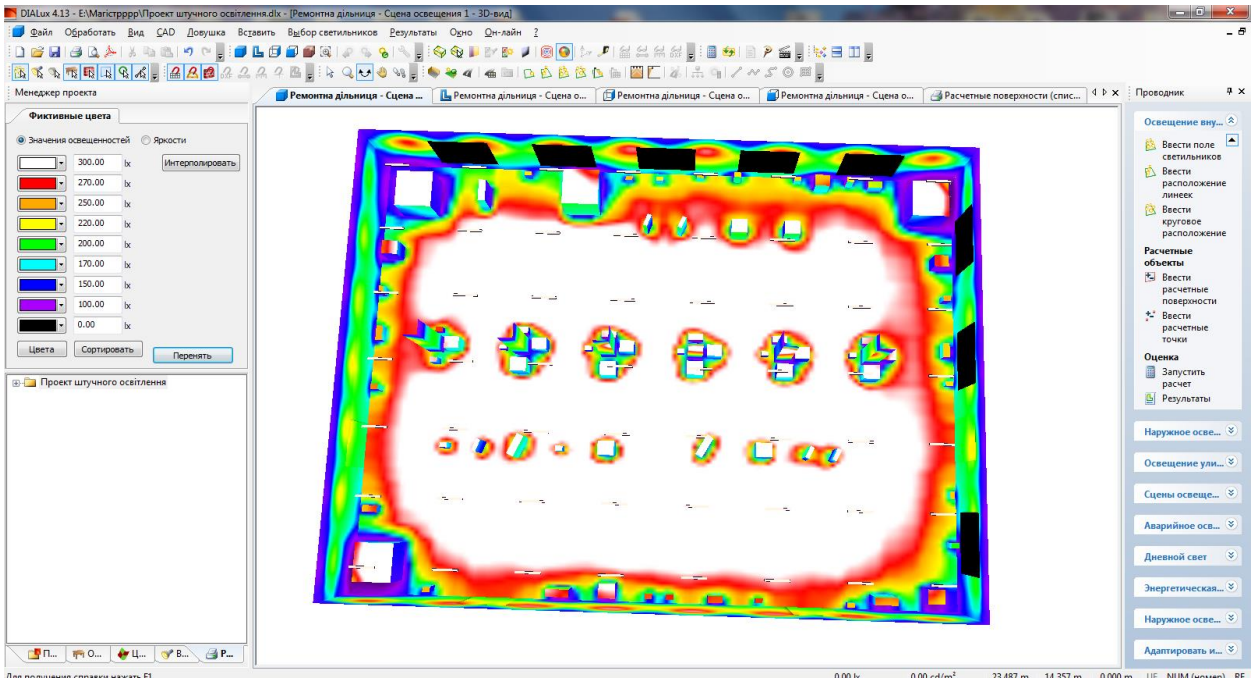


Рисунок 3.10 - Нанесення фіктивних кольорів.

Після внесення параметрів світильника в програму, видається паспорт світильника, що зображений на рис.3.11.

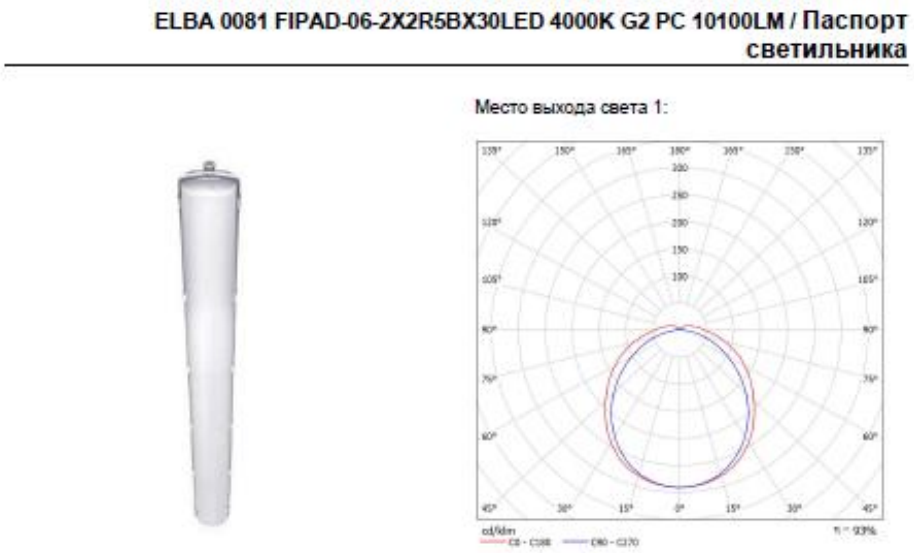
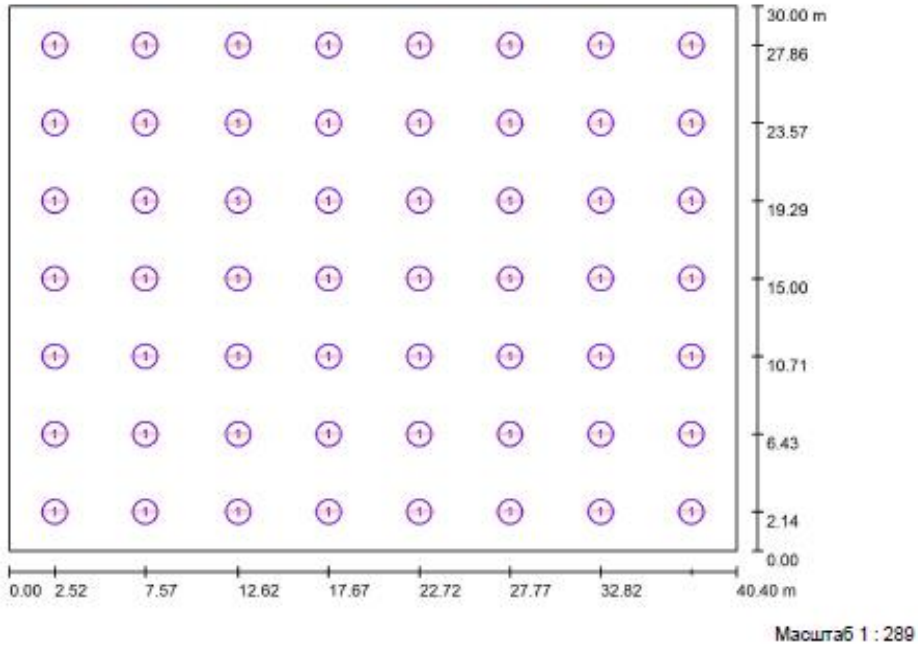


Рисунок 3.11 - Паспорт світильника ELBA 0081 FIPAD-06.

Розміщення світильників ELBA 0081 FIPAD-06 на плані МВ, що виконано у програмі, представлено на рис.3.12.



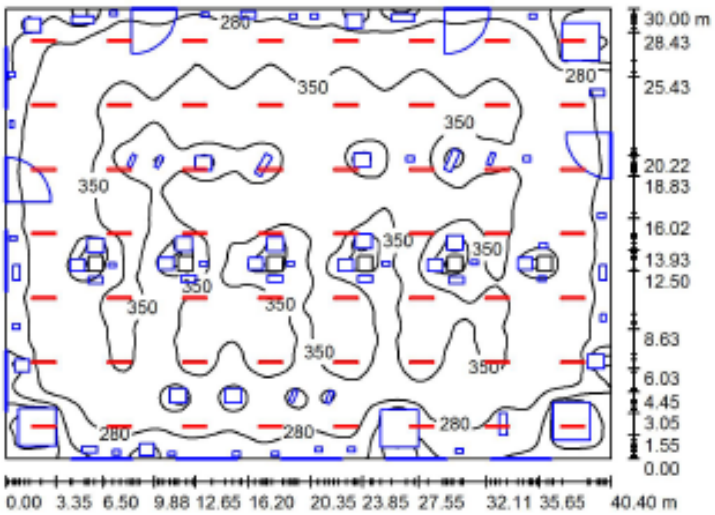
Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение
1	56	ELBA 0081 FIPAD-06-2X2R5BX30LED 4000K G2 PC 10100LM

Рисунок 3.12 - Розміщення світильників ELBA 0081 FIPAD-06 на плані МВ.

Результати розрахунку освітленості поверхонь МВ при використанні світильників ELBA 0081 FIPAD-06 приведено на рис.3.13.

Виконаний розрахунок дозволяє зробити висновки, що освітленість робочої поверхні відповідає нормованій 300 Лк. Загальна відомість світлотехнічних розрахунків штучного освітлення МВ РМЦ, при використанні світильників ELBA 0081 FIPAD-06 представлена у додатку Б.



Высота помещения: 5.800 m, Монтажная высота: 5.300 m, Значения в Lux, Масштаб 1:386
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	318	40	385	0.126
Полы	20	282	19	364	0.069
Потолок	70	86	60	141	0.695
Стенки (4)	50	176	46	296	/

Рабочая плоскость:
Высота: 0.850 m
Растр: 128 x 128 Точки
Краевая зона: 0.000 m

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	56	ELBA 0081 FIPAD-06-2X2R5BX30LED 4000K G2 PC 10100LM (1.000)	10084	10858	63.0
			Всего: 564708	Всего: 608048	3528.0

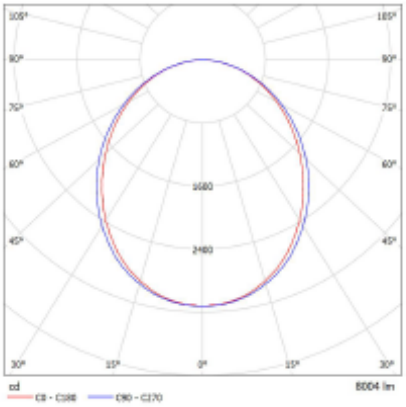
Удельная подсоединенная мощность: 2.91 W/m² = 0.92 W/m²/100 lx (Поверхность основания: 1212.00 m²)

Рисунок 3.13 - Розрахунок освітленості поверхонь приміщення при використанні світильників ELBA 0081 FIPAD-06.

Аналогічно виконуємо розрахунок із світильниками FACTORY.OPL LED 100 IP54 5000K. Паспорт світильника, згенерований програмою, представлено на рис. 3.14. Розміщення світильників FACTORY.OPL LED 100 IP54 5000K на плані МВ зображено на рис.3.15.

LIGHTINGTECHNOLOGIES 1598000210 FACTORY.OPL LED 80 IP54 5000K / Паспорт светильника

Место выхода света 1:

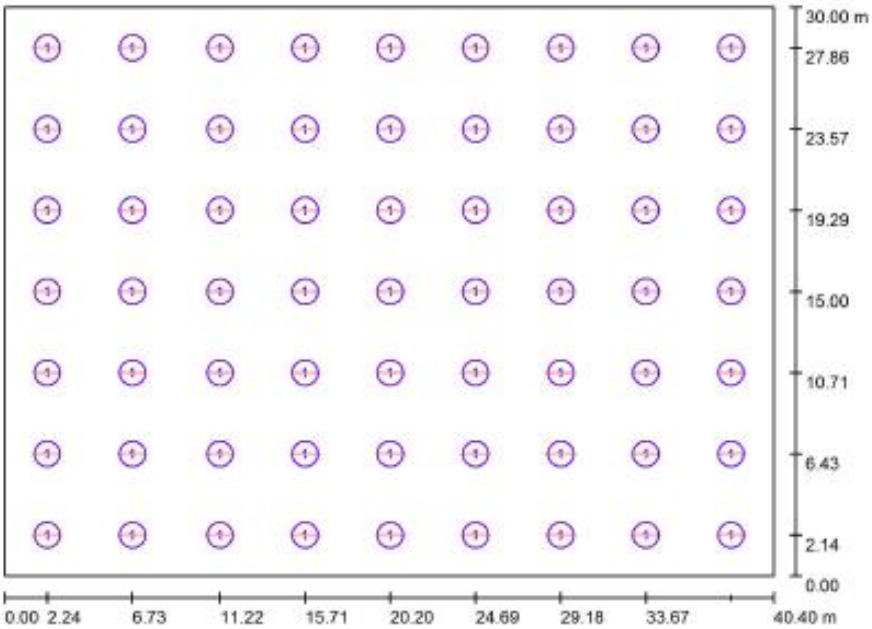


Классификация светильников по CIE: 100
CIE Flux Code: 50 80 96 100 100

Подвесная модульная система. Монтируются на поверхность потолка с помощью монтажных пластин. В качестве источника света применяются SMD LED с длительным сроком службы.

Из-за отсутствия свойств симметрии для этому светильнику невозможно представление таблицы UGR.

Рисунок 3.14 - Паспорт світильника FACTORY.OPL LED 100 IP54 5000K.



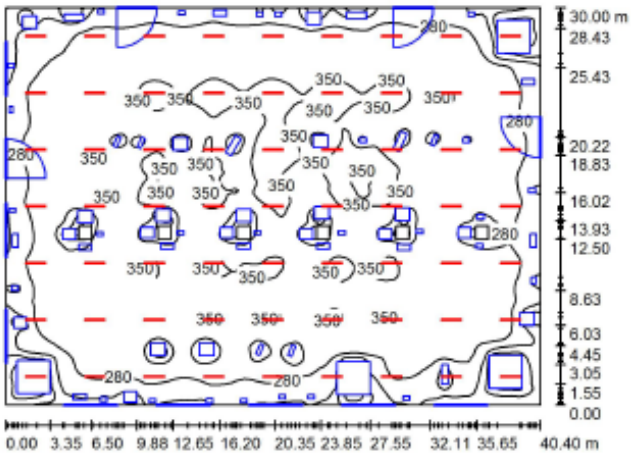
Масштаб 1 : 289

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение
1	63	LIGHTINGTECHNOLOGIES 1598000210 FACTORY.OPL LED 80 IP54 5000K

Рисунок 3.15 - Розміщення світильників FACTORY.OPL LED 100 IP54 5000K на плані МВ.

Результати розрахунку освітленості поверхонь МВ при використанні світильників FACTORY.OPL LED приведено на рис.3.16. Загальна відомість світлотехнічних розрахунків штучного освітлення МВ РМЦ, при використанні світильників ELBA 0081 FIPAD-06 представлена у додатку В.



Высота помещения: 5.800 m, Монтажная высота: 5.300 m, Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:386

Поверхность	ρ [%]	E_{cp} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{cp}
Рабочая плоскость	/	304	30	370	0.099
Полы	20	271	13	349	0.048
Потолок	70	57	42	86	0.733
Стенки (4)	50	132	44	222	/

Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m
Растр: 128 x 128 Точки
Краевая зона: 0.000 m

Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Φ (Светильник) [lm]	Φ (Лампы) [lm]	P [W]
1	63	LIGHTINGTECHNOLOGIES 1598000210 FACTORY.OPL LED 80 IP54 5000K (1.000)	8004	8004	67.0
			Всего: 504252	Всего: 504252	4221.0

Удельная подсоединенная мощность: 3.48 W/m² = 1.14 W/m²/100 lx (Поверхность основания: 1212.00 m²)

Рисунок 3.16 - Розрахунок освітленості поверхонь приміщення при використанні світильників FACTORY.OPL LED.

Порівняння результатів розрахунку по двом світильникам дозволяє зробити висновок, що обидва світильника забезпечують нормовану освітленість, хоча вищий рівень освітленості забезпечує світильник ELBA 0081 FIPAD-06.

4 КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ ЗАГАЛЬНОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

4.1 Розрахунок економічної ефективності використання СДС

В умовах постійного підвищення цін на енергоресурси та залежності від зовнішніх постачальників енергоносіїв, вдосконалення показників енергоефективності, зниження витрат енергоресурсів набуває особливої актуальності. Оскільки, головним джерелом енергії на підприємствах являється електрична енергія, саме раціональне і ефективне її використання в усіх сферах діяльності підприємства, забезпечує значне зменшення витрат.

Одним з ефективних енергозберігаючих та простих заходів являється модернізація системи електроосвітлення. Зараз, для організації системи внутрішнього освітлення РМЦ використовуються світильники РСП-05 з газорозрядними лампами ДРЛ400 (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 - Техніко-економічні характеристики світильника РСП05.

№	Параметр	Одиниці виміру	Значення
1	Потужність лампи	Вт	400
2	Світловий потік,	Лм	24000
3	Потужність світильника разом з ПРА	Вт	525
4	Час роботи лампи	год.	3500
5	Час роботи ПРА	год.	7000
6	Кількість світильників на об’єкті	шт.	66

Основними недоліками існуючих ДС являється малий строк служби ламп і ПРА. Спостерігається значне погіршання їх характеристик після 1000-1500 годин роботи: зменшення світлового потоку до 50%, зміна передачі кольору. Це призводить до додаткових витрат, що пов’язані з технічним обслуговуванням світильників, утилізацією вийшовших з ладу ламп. Та основним недоліком ламп ДРЛ є високе електроспоживання, досить низький ККД.

Для підвищення енергоефективності внутрішнього освітлення РМЦ пропонується замінити існуючі світильники сучасними світлодіодними CEC8-126 виробництва RadiyLED [1]. Їх основні технічні характеристики представлено у 2 розділі в таблиці 2.6. Для проведення техніко-економічних розрахунків необхідно визначити вартість світильників, вибираємо ціну світильника 8980 грн.

До основних переваг світлодіодних світильників порівняно з лампами ДРЛ відносять:

- великий термін служби СДС: 100 тисяч годин, це становить 25 років експлуатації (при роботі світильника 10,5 год./добу);
- можливість експлуатації без обслуговування;
- висока енергоефективність;
- використання світлового потоку СДС наближається до 100%;
- висока екологічна безпека та можливість збереження навколишнього середовища;
- підвищена електробезпека при експлуатації та вибухобезпечність;
- стабільна робота при перепадах напруги;
- працездатність при низьких температурах навколишнього середовища та миттєве запалювання при під’єднанні до напруги живлення;
- відсутність перевантаження електричних мереж при вмикання;
- забезпечення кращого зорового сприйняття глибини простору через збільшення контрастності, відсутність засліплюючого ефекту через спеціально сформований кут розкриття світлового потоку;
- регулювання яскравості за допомогою зниження напруги живлення.

Капітальні витрати для модернізації системи освітлення РМЦ включають вартість світильників, доставки і витрати, що пов’язані з заміною світильників:

$$K = B_{обл} + B_{д} + B_{з}, \tag{4.1}$$

де $B_{обл}$ – вартість світлотехнічного обладнання, грн.;

$B_{д}$ – вартість доставлення, грн.

$$B_{обл} = 8980 \cdot 66 = 592680 \text{ грн.}$$

Приймаємо вартість доставлення у розмірі 1% від вартості світлотехнічного обладнання:

$$B_{д} = 592680 \cdot 0{,}01 = 5926{,}8 \text{ грн.}$$

$B_з$ – вартість робіт, що пов'язана з заміною світильників. Ця вартість включає основну і додаткову заробітну плату (ЗП) електромонтера, відрахування до соціальних фондів, вартість технологічних матеріалів: ізолююча стрічка, клемники, дріт.

Основна ЗП розраховується з врахуванням погодинної тарифної ставки електромонтера III розряду, що складає 36,8 грн./год. та норми часу, що визначена для заміни одного світильника (приймається 1 год).

$$З_{осн} = 36{,}8 \cdot 66 = 2428{,}8 \text{ грн.}$$

Додаткова ЗП приймається 15% основної, єдиний соціальний внесок складає 22% від основної та додаткової ЗП.

$$З_{дод} = 2428{,}8 \cdot 0{,}15 = 364{,}32 \text{ грн;}$$

$$B_{соц} = (2428{,}8 + 364{,}32) \cdot 0{,}22 = 614{,}49 \text{ грн.}$$

Враховуємо вартість технологічних матеріалів, витрачених на монтаж 1-го світильника (21 грн.):

$$B_{мат} = 42 \cdot 66 = 2772 \text{ грн.;}$$

$$Вз = 2428{,}8 + 614{,}49 + 2772 = 6179{,}61 \text{ грн.;}$$

$$К = 592680 + 5926{,}8 + 6179{,}61 = 604786{,}4 \text{ грн.}$$

Розрахуємо поточні витрати базового та модернізованого варіантів. У якості базового варіанту прийнята системи внутрішнього освітлення РМЦ зі

світильниками РСП-05 з газорозрядними лампами ДРЛ – 400. У якості модернізованого варіанту – світлодіодні світильники СЕС8-126.

Розрахунки проводяться за витратами, які відрізняються по варіантам та при умові роботи систем внутрішнього освітлення РМЦ протягом року.

Визначаємо вартість спожитої електроенергії по формулі:

$$B_{ел.б} = T_{ел} \cdot W, \qquad (4.2)$$

де $T_{ел}$ = 6,56 грн./кВт-год., прийнятий тариф на електроенергію для II класу напруги;

W – значення річного споживання електроенергії на освітлення, кВт-год. :

$$W = P_o \cdot F_o, \qquad (4.3)$$

P_o - розрахункова потужність внутрішнього освітлення, кВт.

Для базового варіанту:

$$P_{о.б.} = 66 \cdot 0{,}525 = 34{,}65 \text{ кВт}$$

Для варіанту модернізації:

$$P_{о.м.} = 66 \cdot 0{,}13 = 8{,}58 \text{ кВт}$$

Враховуємо час роботи внутрішнього освітлення, в середньому : F_o =14,18 год./добу чи 3562 год./рік:

$$W_б = 34{,}65 \cdot 3562 = 123423{,}3 \text{ кВт-год.};$$

$$W_м = 8{,}58 \cdot 3562 = 30561{,}9 \text{ кВт-год.}$$

Вартість електроенергії для двох варіантів:

$$B_{ел.б} = 6{,}56 \cdot 123423{,}3 = 809656{,}8 \text{ грн.};$$

$$B_{ел.м} = 6{,}56 \cdot 30561{,}9 = 200486{,}5 \text{ грн.}$$

Далі потрібно визначити витрати на технічне обслуговування світильників. До них відносяться: вартість нових ламп, пристроїв ПРА, утилізації старих ламп та ЗП з відрахуваннями на соціальні фонди електромонтера.

На підприємстві передбачені планово-попереджувальні ремонти (ППР) обладнання, це стосується і системи внутрішнього освітлення. Відповідно до регламенту виконується планова заміна ламп ДРЛ один раз на рік, а пристроїв ПРА один раз на два роки. Середня вартість ламп становить: ДРЛ-400 – 181 грн.; ПРА HPS-500 – 925 грн.

Вартість ламп та ПРА, що підлягають заміні у РМЦ:

$$B_{л.пра} = 66 \cdot 181 + \frac{66 \cdot 925}{2} = 42471.$$

Вартість утилізації однієї лампи ДРЛ складає 25,4 грн.

$$B_{ут} = 66 \cdot 25{,}4 = 1676{,}4 \text{ грн.}$$

Враховуємо загальна трудомісткість виконання робіт, що проводяться по заміні ламп та ПРА, яка на підприємстві становить 2,6 нормо-годин за рік для одного світильника. Роботи виконує електромонтер III розряду. Оплата праці електромонтера та відрахуваннями у соціальні фонди:

$$B_{опл} = 36{,}8 \cdot 66 \cdot (1+0{,}15) \cdot (1+0{,}22) = 3407{,}6 \text{ грн.}$$

Витрати на технічне обслуговування світильників протягом року, в базовому варіанті:

$$B_{то.б} = 42471 + 1676{,}4 + 3407{,}6 = 47555{,}01 \text{ грн.}$$

Для варіанту модернізації освітлення враховуємо, що світлодіодні світильники не потрібно обслуговувати на протязі їх терміну служби, тобто 25 років.

Результати розрахунку для двох варіантів поточних витрат внесено в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 - Кошторис поточних витрат за рік.

Стаття витрат	Витрати по варіантах, грн.	
	базовий	модернізований
Вартість спожитої електроенергії, грн.	809656,8	200486,5
Витрати на технічне обслуговування, грн	47555,01	-
Всього	857211,81	200486,5

Отриманий річний економічний ефект для модернізованої системи освітлення РМЦ:

$$E_p = \left(B_{п.б} - B_{п.н}\right) - E_н \cdot K \tag{4.4}$$

де $B_{п.б}$, $B_{п.н}$ – значення поточних витрат для базовому та модернізованого варіантів, відповідно, грн.;

$E_н$ – значення коефіцієнту економічної ефективності капіталовкладень для освітлювальні системи (приймається $E_н$=0,25).

$$E_р = (857211{,}81 - 200486{,}5) - 0{,}25 \cdot 604786{,}4 = 505528{,}71 \text{грн.}$$

Визначимо період окупності додаткових капітальних вкладень:

$$T_{ок} = \frac{K}{B_{п.б.} - B_{п.м.}} = \frac{604786{,}4}{857211{,}81 - 200486{,}5} = 1{,}92 \text{ року.}$$

Згідно з проведеними розрахунками, заміна існуючих світильників з газорозрядними лампами на світлодіодні світильники є економічно виправданою. Враховуючи постійне зростання тарифів на електроенергію, економічний ефект від запропонованого заходу буде стабільно збільшуватись.

Додатково слід відзначити, що глобальна проблема економії енергетичних ресурсів тісно пов'язана із збереженням навколишнього середовища. Проблема енергоекономічності освітлення цікава не лише через значний обсяг використання енергоресурсів для штучного освітлення, але й через значні потенційні можливості економії електроенергії - не менше як 50% від сучасного рівня споживання. Застосування сучасних технологій може суттєво зменшити техногенне навантаження на навколишнє середовище, сприяючи зниженню споживання електроенергії на освітлення.

4.2 Заходи із заощадження електроенергії під час експлуатації ОП

Одним з дієвих заходів підвищення ККД існуючих ОП являється їх чищення. Заощадження електроенергії в результаті цього заходу визначається по формулі, кВт·год/рік:

$$\Delta W_i = k_{чi} \cdot W_{p_i} \tag{4.5}$$

де ΔW_i – річне споживання електроенергії i –тим споживачем;

$k_{чi}$ – значення коефіцієнту ефективності чищення світильників:

$$k_{чi} = 1 - \gamma_c - \beta_c \cdot \exp\left(-\frac{t}{t_c}\right) \tag{4.6}$$

де γ_c, β_c, t_c – значення постійних величин, що характеризують умови експлуатації світильників[4];

t – термін експлуатації світильників в інтервалі між найближчими чищеннями.

$$k_{чi} = 1 - \gamma_c - \beta_c \exp\left(-\frac{t}{t_c}\right) = 1 - 0{,}95 - 0{,}02 = 0{,}03;$$

Величина економії електроенергії за рахунок чищення світильників:

$$\Delta W = k_ч \cdot W_p = 0{,}03 \cdot 30561{,}9 = 916{,}86 \text{ кВт·год/рік.}$$

Ефективним заходом являється підвищення ефективності відбитого світла. Збільшення коефіцієнтів віддзеркалення поверхонь у приміщеннях на 20% та більше (наприклад, за допомогою фарбування стін та стелі у світліші тони, білення або миття) може призвести до економії електроенергії на рівні 5-15%. Це досягається за рахунок підвищення рівня освітленості як від природного, так і від штучного освітлення. Ефективність цього заходу залежить від багатьох факторів, таких як розміри приміщення, коефіцієнти віддзеркалення його поверхонь, розташування вікон, коефіцієнт природної освітленості, режим праці людей, розподіл освітленості та розташування світильників. Точніші значення економії електроенергії можна отримати шляхом світлотехнічного розрахунку, використовуючи метод коефіцієнта використання [4].

За рахунок підвищенні коефіцієнта віддзеркалення поверхонь цеху до ρ = 0,5, використовуючи фарбування та білення, отримаємо економію електроенергії у 10% :

$$\Delta W_{\text{віддз.}} = 3056{,}2 \text{ кВт·год/рік;}$$

Дієвим заходом електроощадності освітлювальних установок являється застосування автоматизації керування освітленням.

Ефективність цього заходу обумовлена багатьма факторами, і методика розрахунку економії електроенергії на освітлення, яка представлена в [12], може бути важкою для використання при проведенні енергоаудиту. Однак у випадках, коли потрібна точна оцінка, цей метод може бути рекомендованим.

На основі практичного досвіду впровадження систем автоматизації систем освітлення, можна розрахувати економію електроенергії за наступною формулою:

$$\Delta W_i = W_{\text{p}i}\left(k_{\text{ea}i} - 1\right), \tag{4.7}$$

де k_{eai} – значення коефіцієнту ефективності систем автоматизації керування освітленням, який залежить від рівня складності системи керування:

- k_{ea} =(1,1-1,15) – при контролі рівня освітленості та автоматичному вмиканні та відключення системи освітлення для критичного значення освітлення;
- k_{ea} =(1,2-1,25) – для зонного керування освітленням ;

k_{ea} =(1,3-1,4) – для плавного керування світловим потоком та потужністю світильників у функції розподілення ПО.

Економія електроенергії за рахунок енергоефективної ПРА, кВт·год/рік:

$$\Delta W_i = W_{pi}\left(1 - \frac{K^N_{ПРАi}}{K_{ПРАi}}\right), \tag{4.8}$$

де $K_{ПРАi}$ – значення коефіцієнту втрат у ПРА для існуючих світильників системи освітлення;

$K^N_{ПРАi}$ – значення коефіцієнт втрат нових ПРА.

Економія енергії через впровадження системи автоматичного регулювання (включення та відключення) освітлення:

$$\Delta W = W_p \cdot (k_{e.a} - 1) = 30561{,}9 \cdot (1{,}1 - 1) = 3064{,}8 \text{ кВт·год/рік;}$$

Економія енергії після установки електронних ПРА:

$$\Delta W = W_p \cdot (1 - \frac{K^N_{пра}}{K_{пра}}) = 30561{,}9 \cdot (1 - 0{,}92) = 2444{,}96 \text{ кВт·год/рік;}$$

Встановлення датчиків руху в коридорах і технічних приміщеннях теж являється заходом зменшення освітлювального навантаження. Цей захід обумовлений тим, що перебування персоналу у цих приміщеннях є незначним.

Пропонується встановлення датчиків руху Crow Swan-Quad у кількості 20 штук [21]. Датчики руху зменшують час, який освітлення увімкнене у середньому на 70% [21], тому споживання електроенергії після встановлення датчиків:

$$\Delta W = \left(24 \cdot 75\right) \cdot 0,95 \cdot 2200 \cdot 0,3 = 1128,6 \text{кВт} \cdot \text{год}$$

Сумарна економія електроенергії:

$$\Delta W_{\Sigma} = \sum_{1}^{i} \Delta W_i = 916,86 + 3056,2 + 3064,8 + 2444,96 + 1128,6 = 10611,42 \text{ кВт·год/рік.}$$

Впровадження комплексної системи підвищення енергоефективності систем освітлення, базується не тільки на використання сучасного енергозберігаючого обладнання, а і на вдосконаленні рівня його експлуатації. В результаті додаткових проведених заходів зниження споживання електроенергії склало 10611,42 кВт·год/рік.

5. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ МОНТАЖУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ РМЦ

Загальна характеристика об'єкта. Ремонтно-механічний цех є допоміжним і виконує замовлення основних цехів підприємства. Призначенням цеху є виконання різних операцій по обслуговуванню, ремонту електромеханічного і верстатного обладнання. Для виконання завдань в цеху передбачені: механічне відділення, відділення бакелітового покриття, ремонтно-будівельне відділення, зварювальне, пресове відділення. Найбільш енергоємне обладнання установлено у механічному відділенні. В цеху встановлена сучасна система внутрішнього освітлення. В проекті використані підвісні світильники з лампами типу LED.

Пожежна безпека. Загальні питання. В приміщенні цеху розміщені матеріали, що характеризуються як негорючі. Цех відноситься до категорії Д з вибухопожежної та пожежної безпеки виробництва, яке пов`язане з обробкою негорючих матеріалів.

У разі виникнення пожежі робітники повинні:

- прийняти всі заходи для ліквідації вогня;
- місце загоряння слід гасити вогнегасником;
- при загоранні електропроводки слід відключати лінію комутаційним апаратом;
- для гасіння ізоляції електропроводів слід застосовувати вуглекислотні вогнегасники або пісок;
- згідно з інструкцією в разі необхідності зупинити роботу обладнання.

Первинні засоби пожежогасіння, наявність яких необхідна в цеху:

- порошкові вогнегасники типу ОП-5 - 2шт;
- вуглекислотні вогнегасники типу ОУ-5 - 2 шт;
- ящик з піском об`ємом 1м^3;

- протипожежний щит з інвентарем (лопата - 2шт., лом - 2шт., крюк - 2шт., кірка - 2шт., відра - 2шт.).

Для гасіння пожежі створюється місцева пожежна команда. Рух пожежних машин по території підприємства передбачається по проектованих проїздах.

Шкідливі фактори впливу на людину. В цеху планується викоритовувати світильники типу: СЕС- 8-125 [1], джерелом світла в цих світильника є світлодіодні лампи. У разі недостатнього охолодження електронних компонентів та самих світлодіодів при використанні цих ламп можливий ризик загоряння та оплавлення проводів, плавління кристалів світлодіодів або вибух плати.

Світлодіоди мають явно виражену полосу випромінювання в синьо-блакитний смузі спектра 440-460 нм, яке негативно впливає і на зір, і на механізм біологічного годинника людини. Наявність вираженого «сплеску» в спектрі сучасних білих світлодіодів обумовлено їх конструкцією: більшість білих світлодіодів складається з синього кристалу і люмінофору, при проходженні через який, частина випромінюваного синього світла перетворюється в широкий спектр з максимумом у жовтій області, а сполука жовтого і синього кольорів сприймається оком як білий світ. Таким чином, тому, що кристал світить у синій області спектра, світлодіод має підвищений рівень випромінювання в найбільш критичній для ока спектральній смузі.

Світильники планується змонтувати на висоті 5 метрів від рівня робочої зони обладнання цеху. Світильники підвішуються під стелею, корпус світильника алюмінієвий, цей матеріал забезпечує максимальне розсіювання тепла та має максимальну теплопровідність. Матеріал розсіювача зроблений з прозорого полікарбонату, що забезпечує найбільш велику світлопровідність та хімічну стійкість при підвищених температурах. Сучасні кристали білого кольору, які використовуються у світильниках, мають кольорову температуру близько 4000К, не мають таких суттєвих недоліків, як сині кристали. Вони вважаються практично безпечними для ока людини.

5.1 Загальні вимоги до працівників щодо охорони праці

До ремонту та монтажу електрообладнания освітлювальних мереж допускаються особи віком не молодші 18 років, після проходження медичного огляду, спеціального навчання, практичної підготовки та які отримали відповідне посвідчення на право виконання робіт і пройшли інструктажі з охорони праці - вступний та на робочому місці і мають групу не нижче II з електробезпеки. Періодичний медичний огляд електромонтажник повинен проходити 1 раз на 24 місяці.

Електромонтажник з ремонту і монтажу електрообладнання освітлювальних електромереж, при одноосібному виконанні робіт у мережах та установках напругою до 1000 В повинен отримати не нижче третьої групи, а понад 1000 В - не нижче четвертої групи.

В процесі роботи, у встановлений на підприємстві термін, електромонтажник повинен пройти курсове навчання по 18-ти годинній програмі та здати успішно іспити на знання ПТЕЕС і ПТБ при експлуатації електроустановок споживачів.

Працівник, що виконує роботи з ремонту електрообладнання систем освітлення повинен знати строки випробовування захисних засобів і пристосувань, правила їх експлуатації та догляду і вміти ними користуватися. Не дозволяється використовувати в роботі пристосування і захисні засоби з терміном періодичної перевірки, що вийшов.

Працівники, які використовують в процесі основної роботи електро - і пневмо-інструменти, підіймальні механізми, точильними і свердлильними верстатами, а також виконують роботи, пов'язані з підвищеною небезпекою та шкідливістю, повинні засвоїти додаткові обсяги навчання, здати техмінімум по улаштуванню й експлуатації даного устаткування, інструменту, інструктаж по правилах безпечного виконання робіт, і отримати відповідне посвідчення.

Лакофарбні матеріали, що використовуються в роботі, та їхні розчинники зберігати в добре вентильованих приміщеннях з щільно запертими металевими

дверима, у зв'язку з їх токсичністю та вибухонебезпечністю. Тару для зберігання лакофарбних матеріалів та їх розчинників необхідно щільно закривати. Інструменти, які використовуються для відкриття і закриття тари виготовляються у вибухобезпечному виконанні. Після роботи з лаками та їх розчинниками необхідно теплою водою з милом вимити руки.

Електромонтажник повинен вміти:

- користуватись первинними засобами пожежогасіння;
- надавати першу домедичну допомогу потерпілим при нещасних випадках.

Електромонтажник з ремонту та монтажу електроустаткування несе відповідальність за порушення вимог робочої інструкції по монтажу освітлення та освітлювальних мереж.

В процесі роботи на електромонтажника діють такі основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- небезпечна напруга;
- відсутність необхідних огороджень і запобіжних поясів при роботі на висоті;
- робота без відповідного спецодягу та без застосування засобів індивідуального захисту;
- експлуатація непровіреного або несправного інструменту;
- незадовільне (захаращене сторонніми предметами) утримання робочого місця;
- недостатнє освітлення зони, в якій виконується робота .

Перед початком виконання робіт для електромонтажника проводиться первинний інструктаж по безпечному виконанню робіт з монтажу світлотехнічного обладнання.

Інструктаж завершується опитуванням, результати відображаються у «Журналі реєстрації інструктажів з питань охорони праці»; успішне проходження інструктажу засвідчується в журналі підписами особи, яка інструктує, та електромонтажника.

5.2 Вимоги безпеки під час монтажу та експлуатації освітлювального обладнання

Вимоги безпеки перед початком робіт:

- отримати завдання від керівника робіт;

- одягти спецодяг, привести його до ладу, застебнути рукава. Елементи одягу повинні бути заправлені так, щоб не було звисаючих кінців. Волосся треба підібрати під головний убір, що щільно облягає;

- підготувати відповідні засоби індивідуального захисту (запобіжний пояс, окуляри захисні з прозорими лінзами, що не б'ються, захисну каску з підшоломником);

- підготувати індивідуальний перевірений інструмент: плоскогубці комбіновані з ізольованими ручками, рулетку, ніж монтерський, молоток слюсарний, викрутки з діелектричною ручкою та ізольованим стрижнем, омметр та прилад для фазування);

- перевірити справність наявного інструмента, пристосувань та відповідність їх кількості та номенклатури вимогам правил охорони праці;

- інструмент, засоби індивідуального захисту та пристосування розкласти в таких легкодоступних місцях, щоб унеможливити випадкове переміщення або падіння їх з висоти під час роботи;

- для перенесення інструменту необхідно забезпечити робітника спеціальною сумкою або пластиковим переносним ящиком. Переносити в кишенях спецодягу інструмент забороняється;

- підготувати засоби підмощування, які виготовляють згідно з розробленим планом виконання робіт (ПВР). Помости, які використовуються для монтажу електричних мереж повинні мати огородження по всьому периметру висотою не менше 1,1м та суцільні настили;

- впевнитись в достатньому освітленні робочої зони, світло не повинно сліпити очі;

- при необхідності, застосовувати при виконанні робіт переносні електролампи, закриті захисними сітками (напругою 42 В у приміщеннях без підвищеної небезпеки та 12 В в особливо небезпечних);

- видалити з робочої зони сторонні предмети;

- попередити працюючих про відключення та від'єднання від електромережі виробничого обладнання (за необхідності);

- при виявленні несправності устаткування, інструменту, пристосувань у всіх випадках - перед початком або під час роботи повідомити майстра (керівника робіт) і до усунення недоліків до роботи не приступати.

Вимоги безпеки під час виконання роботи:

- забороняється виконувати роботи з монтажу у неосвітлених або затемнених місцях;

- під час роботи на висоті слід користуватись огороджувальними пристроями та випробуваними пристосуваннями (запобіжні пояси);

- забороняється підкидати будь-які предмети працюючому зверху; передавати їх слід за допомогою "безкінечної" мотузки, або один кінець мотузки повинен тримати робітник, який знаходиться зверху, а другий той, що внизу;

- забороняється пересуватись вздовж страхувального тросу водночас більше, ніж двом електромонтажникам, а також переміщуватись назустріч один одному;

- забороняється переносити вантажі по підкранових балках;

- забороняється опирати приставну драбину на тросовий провід;

- забороняється працювати електродрилем з приставних драбин;

- необхідно застосовувати запобіжний пояс при роботі з приставних драбин на висоті більше 1,3 м;

- необхідно огородити чи охороняти місця встановлення драбин в місцях руху транспортних засобів чи людей на весь час виконання робіт;

- вимірювання опору ізоляції виконують два робітники. Перед проведенням вимірювань слід впевнитись в тому, що дільниця кола, що контролюється, не

знаходиться під напругою, перевірити за схемою, куди входять розгалужені дільниці кола, виключити доступ сторонніх осіб до них, вивісити в цих місцях попереджувальні плакати чи виставити спостерігача на термін виконання вимірів;

- вимірювання опору заземлення проводиться тільки після знятої з нього напруги;

- всі електромонтажні роботи на струмоведучих частинах обладнання чи поблизу них, а також операції приєднання чи від'єднання проводів у діючих електроустановках U > 42 В дозволяється виконувати тільки після зняття напруги;

- подання напруги для випробування реле, автоматичних вимикачів та інших приладів і апаратів виконується за вказівкою керівника робіт безпосередньо після перевірки правильності підготовчих робіт;

- при встановленні групових щитів, розподільчих пунктів, світильників та іншого обладнання необхідно перевірити надійність кріплень, на яких вони будуть закріплюватись;

- пробивання отворів у бетоні або кирпичі слід виконувати у захисних окулярах з пластиком або склом, що не б'ється;

- свердління отворів у стінах, натягування проводів площею (перерізом) більше 4 мм2 та монтаж електричних силових мереж на висоті дозволяється проводити виключно з пересувних вишок. Виконувати ці роботи з випадкових предметів та драбин не дозволяється;

- кріплення тросів до корзин та помостів в процесі їх натягування чи установки відтяжок не дозволяється. Остаточний натяг тросових проводок слід виконувати із застосуванням спеціальних натяжних пристосувань та тільки після встановлення проміжних підвісок;

- при роботі з приставної драбини обов'язково слід користуватися запобіжним поясом. Місця закріплення карабіна вказується керівником робіт під час інструктажу працівника на робочому місці;

- під час підйому на значну висоту кабелів, проводів, шин, ізоляторів, конструкцій та іншого слід застосовувати відтяжку для безпечного страхування від розгойдування;

- затягування кабелів і проводів через отвори в перекриттях та стінах слід виконувати за умови нагляду інших електромонтажників для запобігання травматизму (затягуванню кінцівок у труби) разом з кабелем;

- з метою попередження пошкодження рук під час затягування проводів кінці труб для прокладання кабелів чи проводів повинні обпилюватися та зачищатися від задирок. Притуляти труби вертикально до стін або металоконструкцій не дозволяється, необхідно їх розміщувати горизонтально на підлозі, застосовуючи упори;

- підвісна арматура (світильники) напругою змінного струму понад 42 В та 110 В постійного струму повинна мати ізольоване кріплення до стін або стелі;

- під час підключення електричних патронів фазний провід підключається на язичок патрона, на юбку патрона - нульовий провід. Вимикачі освітлення повинні встановлюватися на фазному проводі;

- установка освітлювальної арматури (світильників) повинна виконуватися двома працівниками або одним робітником за умови застосування спеціальних пристроїв;

- запобіжники на силових збірках та освітлювальних щитах мають бути зняті протягом всього терміну монтажу;

- розмотування тросів, проводів, кабелів виконується в рукавицях;

- всі металеві частини тросового кріплення електромережі повинні бути заземлені;

- монтаж блоків шинопроводів відповідно треба виконувати тільки після встановлення всіх передбачених проєктом конструкцій кріплення;

- вимірювання одноособово опору ізоляції жил проводу чи кабелю за допомогою омметра дозволяється за наявності у працівника не нижче III групи з електробезпеки;

- у вибухонебезпечних приміщеннях та зовнішніх вибухонебезпечних установках монтажні роботи із застосуванням відкритого вогню слід

виконувати за письмовим дозволом головного інженера, узгодженим з головним енергетиком та місцевою пожежною охороною;

- виконувати електромонтажні роботи в приміщеннях, де можлива поява газу, можна тільки після попереднього провітрювання приміщення та перевірки повітряного середовища на допустиму загазованість.

Вимоги безпеки після закінчення роботи:

- відключити (від'єднати) електрообладнання, електроінструмент, вантажопідйомні машини від мережі;
- скласти інструмент і пристосування у відведене для зберігання місце;
- злити залишки лаків і розчинників у спеціальну тару, що щільно закривається; прибрати робоче місце;
- зняти спецодяг, спецвзуття, помити руки, обличчя з милом, при можливості, прийняти душ;
- про всі неполадки, виявлені під час роботи, доповісти керівнику робіт.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях:

При виконані робіт по монтажу освітлення та освітлювальних мереж може виникнути ситуація, яка може призвести до аварії або нещасного випадку: ураження електрострумом, падіння з висоти; захаращення робочої зони; падіння предметів та інше.

У разі виникнення такої ситуації необхідно:

- припинити негайно роботу, електроінструмент від'єднати від електромережі роз'єднанням штепсельного з'єднання;
- встановити огородження навколо небезпечної зони, не допускати в неї проникнення сторонніх осіб;
- повідомити про те, що сталося, безпосереднього керівника робіт;
- якщо є потерпілі, надати їм домедичну допомогу, при необхідності, викликати швидку.

5.3 Розрахунок аварійного освітлення

Світильники аварійного освітлення розташовуються рівномірно по всій площі механічного відділення РМЦ. Аварійне освітлення рекомендується

виконувати від 5 Лк до 30 Лк, або 5 % від норми робочого освітлення. Для освітлення використаємо світильники: PHILIPS SM500T 1xLED79S/830 DA20.

Розрахунок проводимо в спеціалізованому програмному забезпеченні «DIALux». Для розрахунків задаємо освітленість у відділенні для аварійного освітлення 30 Лк. Розміщення світильників у відділенні, що розраховано у програмі, зображено на рис.5.1.

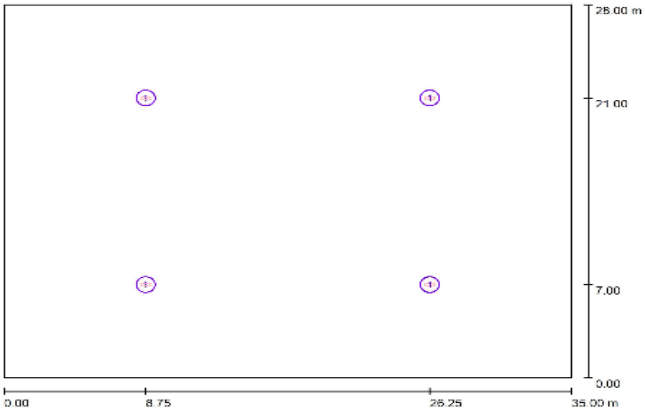


Рисунок 5.1 – Розміщення аварійного освітлення в МВ.

Після виконання розрахунків у програмі отримаємо відомість світлотехнічних розрахунків аварійного освітлення, з аналізом середньої освітленості робочих поверхонь (рис.5.2).

Общий световой поток: 31600 lm
Общая мощность: 212.0 W
Коэффициент эксплуатации: 0.80
Краевая зона: 0.000 m

Поверхность	Средние освещенности [lx]			Коэффициент отражения [%]	Средние Яркость [cd/m²]
	Напрямую	Опосредовано	Всего		
Рабочая плоскость	22	3.17	25	/	/
Полы	18	3.09	22	20	1.37
Потолок	0.00	4.30	4.30	70	0.96
Стенка 1	4.36	3.72	8.08	30	0.77
Стенка 2	3.28	3.47	6.75	50	1.07
Стенка 3	4.36	3.72	8.07	50	1.28
Стенка 4	3.30	3.58	6.88	50	1.09

Равномерность на рабочей плоскости
E_{min} / E_{cp}: 0.183 (1:5)
E_{min} / E_{max}: 0.100 (1:10)

Удельная подсоединенная мощность: 0.22 W/m² = 0.86 W/m²/100 lx (Поверхность основания: 980.00 m²)

Рисунок 5.2 - Світлотехнічні розрахунки аварійного освітлення механічного відділення.

Для оцінювання якості світлотехнічних розрахунків, в програмі будуються ізолінії падіння світлового потоку з нанесенням їх значень. Ізолінії освітленості представлено на рис.5.3.

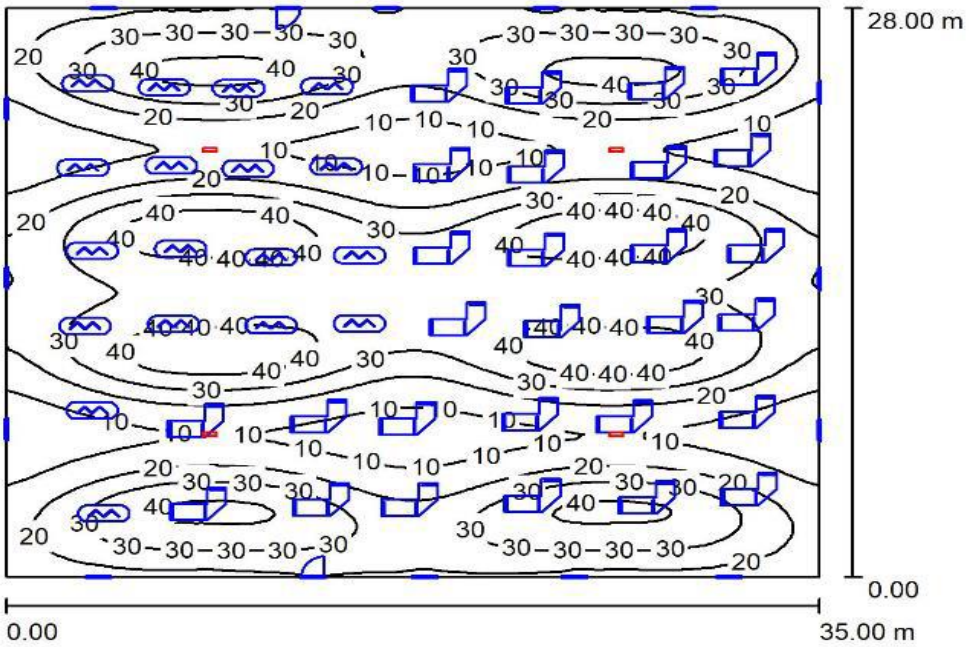


Рисунок 5.3 – Зображення ізоліній освітленості МВ під час аварійного освітлення.

Для проведення аварійної евакуації персоналу у відділені передбачено два аварійних виходи та розміщені вказівні таблички, що зображують напрямок евакуації (рис.5.4).

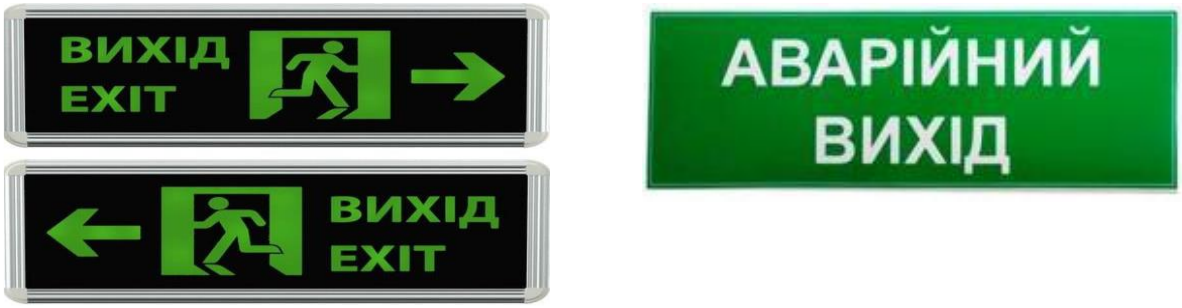


Рисунок 5.4 - Вказівні таблички аварійного виходу та напрямку евакуації.

ВИСНОВКИ

В роботі виконано дослідження ефективності систем освітлення основних загальнопромислових виробництв на прикладі ремонтно-механічного цеха.

Насамперед, визначені основні критерії та вимоги до енергоощадного виконання освітлення ремонтно-механічних цехів: забезпечення необхідної якості освітлення, рівномірності, обмеження тіні і пульсацій, економічність досягнення нормованої освітленості, надійність закріплення ОП, зручний та безпечний доступ для обслуговування ОП, надійне евакуаційне та аварійне освітлення.

Для РМЦ прийнята система суміщеного освітлення, яка включає природнє та штучне освітлення. Вибрані нормовані значення освітленості цеху. Для механічного відділення – 300 Лк, для всіх інших – 200 Лк.

Проведено аналіз виконання системи освітлення цеху лампами ДРЛ зі світильниками РСП 05 та запропонована їх заміна на світлодіодні світильники виробництва *RadiyLED* типу СЕС 8-126 (потужністю 130 Вт) та СЕС 8-100 (потужністю 100 Вт). Для обох випадків, виконано світлотехнічний розрахунок системи освітлення. Для модернізованої системи освітлення, проведено електротехнічний розрахунок, визначено перерізи проводів освітлювальної мережі, захисні автомати та схему освітлювальної мережі РМЦ.

Проведено аналіз існуючих програм світлотехнічних розрахунків. Побудова спеціалізованих комп'ютерних світлотехнічних програм базується на використанні теорії глобального освітлення. Серед найбільш поширених на ринку ПЗ світлотехнічні програми, обрано програму світлотехнічних розрахунків «DIALux». Програма досить проста у користуванні та розповсюджується безкоштовно.

У програмі «DIALux» проведено моделювання систем природнього та штучного освітлення МВ РМЦ. Було розглянуто два варіанти: світильник ELBA 0081 FIPAD-06 та FACTORY.OPL LED 100. Проведений розрахунок дозволяє зробити висновок, що освітленість робочої поверхні обладнання відповідає нормованій.

Заміна джерела світла на більш сучасне являється головним заходом, що забезпечує підвищення ефективності використання системи освітлення. Так, економічний ефект від модернізації системи освітлення РМЦ склав 505 тис.грн. при терміні окупності 1,92 роки.

Але, підвищення ефективності системи освітлення базується на комплексному підході, з врахуванням енергоощадної експлуатації. Розглянуто інші дієві заходи: очищення ОП, підвищення ефективності відбитого світла, встановлення електронних ПРА, розміщення датчиків руху у коридорах та технічних приміщеннях, застосування автоматизації керування освітленням. У результаті проведених додаткових заходів зменшення споживання електроенергії склало 10611,42 кВт·год/рік, тобто 69,6 тис.грн.

Також у кваліфікаційній роботі були розглянуті питання з охорони праці та пожежної безпеки при проведені монтажу та експлуатації системи освітлення, розраховано аварійне та евакуаційне освітлення.

На даний час, проблема ефективності систем освітлення являється дуже актуальною, з врахуванням потенційних можливостей економії електроенергії. Застосування комплексного підходу до вдосконалення системи загальнопромислового освітлення дозволить заощадити споживання електроенергії на освітлення, що в свою чергу, посприяє зниженню техногенного навантаження на навколишнє середовище.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Світильники RadiyLED [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://radiyled.com/ua/home/products/industrial-lighting/
2. Світильники ШРЕДЕР [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ua.schreder.com/uk/produktsiya?f%5B0%5D=product_type%3A2761
3. Державні Будівельні Норми України ДБН В.2.5-28-2018 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dbn_v_2.5-28_2018.pdf
4. Плєшков П.Г., Гарасьова Н.Ю., Коновалов І.В., Мануйлов В.Ф. Проектування електричного освітлення промислових підприємств: Навчальний посібник.- Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2008.
5. Енергоефективні системи освітлення для промислових та комунально-побутових споживачів / [Плєшков П. Г., Орлович А. Ю., Серебренніков С. В., Бегун А. П., Різуненко А. О., Гарасьова Н. Ю., Зінзура В. В] ; під редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата технічних наук, професора Плєшкова П. Г. – Харків: ТОВ «Цифра Принт», 2018.– 242с. Режим доступу: http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/12775
6. ДСТУ ГОСТ 15597–2008. Світильники для виробничих приміщень. Загальні технічні умови.
7. ДСТУ Б А.2.4-18:2008. Електричне освітлення території промислових підприємств. Робочі креслення.
8. ДП «НЕК»УКРЕНЕРГО» Досвід країн Євросоюзу з підвищення енергоефективності, енергоаудиту та енергоменеджменту з енергоощадності в економіці країн. Відокремлений підрозділ. – К.: 2017. – 213с. Режим доступу: https://docplayer.net/84214294-Dosvid-krayin-ievrosoyuzu-z-pidvishchennya-energoefektivnosti-energoauditu-ta-energomenedzhmentu-z-energooshchadnosti-v-ekonomici-krayin.html

9. ДСТУ 8546:2015 Світильники зі світлодіодними джерелами світла. Загальні технічні умови [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71689
10. Світильники фірми ALBA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ava-tech.com.ua/uk/products/linijni-svitylnyky/alba/
11. Patriot-nrg Міжнародний портал з енергозбереження [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://patriot-nrg.com/content/ekonomiya-elektroenergiyi-v-osvitlyuvalnyh- ustanovkah
12. Р.В.Пилипчук, В.В.Щиренко «Більше світла – менше спожитої електроенергії. Енергоощадність в освітленні» Електроінформ, №3, 2002р., №1, 2003 р.
13. ДСТУ-П IEC/TS 62504:2012 Загальне освітлення. Світловипромінювальні діоди та модулі світловипромінювальних діодів. Словник термінів
14. ДСТУ EN 62560:2014 Лампи світлодіодні загального освітлення на напругу живлення понад 50 В, поєднані з допоміжними пристроями. Вимоги щодо безпеки
15. ДСТУ IEC/PAS 62612:2012 Лампи світлодіодні загального освітлення, поєднані з допоміжними пристроями. Вимоги до характеристик
16. ДСТУ-П IEC/PAS 62663-1:2015 Лампи світлодіодні не поєднані з допоміжними пристроями. Частина 1. Вимоги щодо безпеки
17. ДСТУ-П IEC/PAS 62663-2:2014 Лампи світлодіодні не поєднані з допоміжними пристроями. Частина 2. Вимоги щодо характеристик
18. ДСТУ-П IEC/PAS 62717:2014 Модулі світлодіодні загального освітлення. Вимоги до характеристик
19. ДСТУ-П IEC/PAS 62722-2-1:2014 Характеристики світильників функційні. Частина 2-1. Особливі вимоги до світильників зі світловипромінювальними діодами
20. Artenergy.com.ua [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.artenergy.com.ua/novosti/karta-solnechnoi-insoliatsii-ukrainy

21. Освітлення промислових об’єктів: Навч. посібник / Укл. Говоров П.П., Пилипчук Р.В., Токань А.І. та ін.– Тернопіль: Джура, 2008. – 388 с.
22. Освітлення виробничих приміщень — види промислових світильників [Електронний ресурс].–Режим доступу: https://stolb.com.ua/osvitlennya-virobnichikh-primishchen-vidi-promislovikh-svitilnikiv/
23. Ю.М.Семків, В.А.Андрійчук, В.С.Касаркевич. Світлове забруднення атмосфери: астрономічний аспект проблеми / Журнал «Світло люкс». – 2010.
24. Безпека праці та промислова санітарія.Навчальний посібник до курсу «Охорони праці»:[К.Н. Ткачук та ін.]– Тернопіль.: 2018. – 213с.
25. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів [Електронний ресурс].–Режим доступу: https://dnaop.com/html/29590_20.html
26. Лідньов А.О. Інструкція з охорони праці для електромонтера з ремонту і обслуговування електроустаткування. –Київ.:2018– 13 ст.
27. The International Dark-Sky Association (IDA) is the recognized authority on light pollution and is the leading organization combating light pollution worldwide. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://darksky.org/about/
28. Офіційний сайт Schneider Electric [Електронний ресурс].–Режим доступу: http://www.schneider-electric.com.
29. Офіційний сайт Siemens [Електронний ресурс].–Режим доступу: https://www.siemens.com.
30. Heckbert P.S. Simulating Global Illumination Using Adaptive Meshing.Diss. PhD. University of California, 1991
31. B Geebelen, Mvan der Voorden «Fast and accurate simulation of longterm daylight availability using the Radiosity method» Lighting Res.Technol. 37,4 (2005) pp.295-312.

Додаток А.

Таблиця А1.Відомість світлотехнічних розрахунків для природного освітлення.

Проект природнього освітлення DIALux

Общий световой поток: 0 lm
Общая мощность: 0.0 W
Коэффициент эксплуатации: 0.80
Краевая зона: 0.000 m

Поверхность	Средние освещенности [lx]			Коэффициент отражения [%]	Средние Яркость [cd/m²]
	Напрямую	Опосредовано	Всего		
Рабочая плоскость	132	15	147	/	/
Расчетные поверхности Машина для мийки деталей	168	30	198	/	/
Расчетные поверхности Прес	159	27	186	/	/
Расчетные поверхности Прес	364	20	384	/	/
Расчетные поверхности 3	1538	28	1566	/	/
Расчетные поверхности Підкатний вулканізатор	1108	25	1133	/	/
Расчетные поверхности Стенд випробувальний	245	31	276	/	/
Расчетные поверхности Дископравний верстат	0.00	0.00	0.00	/	/
Расчетные поверхностиЗварювальний дуговий автомат	24	22	46	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	103	37	140	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	36	32	69	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	8.29	14	23	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	27	26	53	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	25	22	47	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	3.01	4.82	7.84	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	10	14	25	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	28	30	58	/	/
Расчетные поверхности Дископравний верстат	9.51	10	20	/	/
Расчетные поверхности Дископравний верстат	13	14	26	/	/
Расчетные поверхности Дископравний верстат	14	11	25	/	/
Расчетные поверхности Дископравний верстат	7.91	6.05	14	/	/
Расчетные поверхности Дископравний верстат	8.32	8.12	16	/	/
Расчетные поверхности Дископравний верстат	58	20	78	/	/
Расчетные поверхности Дископравний верстат	131	27	158	/	/
Расчетные поверхности Дископравний верстат	5.51	7.68	13	/	/
Расчетные поверхности Дископравний верстат	5.38	7.48	13	/	/
Расчетные поверхности Дископравний верстат	17	18	35	/	/
Расчетные поверхности Машина для мийки деталей	423	25	447	/	/

Продовження табл.А1.

Поверхность	Средние освещенности [lx]			Коэффициент отражения [%]	Средняя Яркость [cd/m²]
	Напрямую	Опосредовано	Всего		
Расчетные поверхности Підсвітний вулканізатор	9.84	12	22	/	/
Расчетные поверхности Підсвітний вулканізатор	7.77	5.82	14	/	/
Расчетные поверхности Підсвітний вулканізатор	3.77	5.04	8.81	/	/
Расчетные поверхности Підсвітний вулканізатор	5.42	5.04	10	/	/
Расчетные поверхности Підсвітний вулканізатор	5.94	6.74	13	/	/
Расчетные поверхности Підсвітний вулканізатор	1.68	6.46	8.13	/	/
Расчетные поверхности Підсвітний вулканізатор	14	15	29	/	/
Расчетные поверхности Прес	3.40	6.20	9.60	/	/
Расчетные поверхности Прес	32	23	55	/	/
Расчетные поверхности Прес	14	5.50	20	/	/
Расчетные поверхности Підсвітний вулканізатор	141	29	170	/	/
Расчетные поверхности Зварювальний дуговий автомат	366	26	392	/	/
Полы	106	16	122	20	7.74
Потолок	0.00	22	22	70	4.89
Стенка 1	6.50	44	51	50	8.06
Стенка 2	14	9.93	24	50	3.88
Стенка 3	20	9.45	30	50	4.75
Стенка 4	9.69	38	47	50	7.56

Равномерность на рабочей плоскости
E_{min} / E_{sp}: 0.028 (1:36)
E_{min} / E_{max}: 0.002 (1:507)

Удельная подсоединенная мощность: 0.00 W/m² = 0.00 W/m²/ lx (Поверхность основания: 1212.00 m²)

Додаток Б.

Таблиця Б.1.Відомість світлотехнічного розрахунку для штучного освітлення за першим варіантом

Проект штучного освітлення DIALux

Общий световой поток: 564708 lm
Общая мощность: 3528.0 W
Коэффициент эксплуатации: 0.80
Краевая зона: 0.000 m

Поверхность	Средние освещенности [lx]			Коэффициент отражения [%]	Средние Яркость [cd/m²]
	Напрямую	Опосредовано	Всего		
Рабочая плоскость	256	62	318	/	/
Расчетные поверхности Машина для мийки деталей	275	63	338	/	/
Расчетные поверхности Прес	187	59	246	/	/
Расчетные поверхности Прес	310	57	367	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	171	46	217	/	/
Расчетные поверхности Підкатний вулканізатор	169	58	228	/	/
Расчетные поверхности Стенд випробувальний	183	64	247	/	/
Расчетные поверхности Дисковправний верстат	282	58	341	/	/
Расчетные поверхностиЗварювальний дуговий автомат	166	74	240	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	231	64	295	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	244	70	315	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	179	83	262	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	235	70	305	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	240	66	306	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	187	68	255	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	176	70	246	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	231	74	305	/	/
Расчетные поверхности Дисковправний верстат	291	67	358	/	/
Расчетные поверхности Дисковправний верстат	283	66	348	/	/
Расчетные поверхности Дисковправний верстат	340	64	404	/	/
Расчетные поверхности Дисковправний верстат	327	65	391	/	/
Расчетные поверхности Дисковправний верстат	297	64	360	/	/
Расчетные поверхности Дисковправний верстат	256	64	320	/	/
Расчетные поверхности Дисковправний верстат	188	72	260	/	/
Расчетные поверхности Дисковправний верстат	218	78	296	/	/
Расчетные поверхности Дисковправний верстат	273	60	334	/	/
Расчетные поверхности Дисковправний верстат	214	68	282	/	/
Расчетные поверхности Машина для мийки деталей	271	58	329	/	/

DIALux 4.13 by DIAL GmbH Сторона 10

Продовження табл.Б1.

Поверхность	Средние освещенности [lx]			Коэффициент отражения [%]	Средние Яркость [cd/m²]
	Напрямую	Опосредовано	Всего		
Расчетные поверхности Підкатний вулканізатор	320	65	385	/	/
Расчетные поверхности Підкатний вулканізатор	166	78	244	/	/
Расчетные поверхности Підкатний вулканізатор	285	65	349	/	/
Расчетные поверхности Підкатний вулканізатор	182	70	252	/	/
Расчетные поверхности Підкатний вулканізатор	231	65	297	/	/
Расчетные поверхности Підкатний вулканізатор	173	69	243	/	/
Расчетные поверхности Прес	198	78	276	/	/
Расчетные поверхности Прес	177	72	250	/	/
Расчетные поверхности Прес	221	68	289	/	/
Расчетные поверхности Підкатний вулканізатор	183	61	244	/	/
Расчетные поверхности Зварювальний дуговий автомат	176	69	246	/	/
Расчетные поверхностиЗварювальний дуговий автомат	181	83	264	/	/
Полы	224	58	282	20	18
Потолок	21	64	86	70	19
Стенка 1	128	50	178	50	28
Стенка 2	107	58	164	50	26
Стенка 3	138	57	195	50	31
Стенка 4	101	55	156	50	25

Равномерность на рабочей плоскости
E_{min} / E_{cp}: 0.126 (1:8)
E_{min} / E_{max}: 0.104 (1:10)

Удельная подсоединенная мощность: 2.91 W/m² = 0.92 W/m²/100 lx (Поверхность основания: 1212.00 m²)

Додаток В.

Таблиця В.1.Відомість світлотехнічного розрахунку для штучного освітлення за другим варіантом

Проект штучного освітлення DIALux

Общий световой поток: 504252 lm
Общая мощность: 4221.0 W
Коэффициент эксплуатации: 0.80
Краевая зона: 0.000 m

Поверхность	Средние освещенности [lx]			Коэффициент отражения [%]	Средняя Яркость [cd/m²]
	Напрямую	Опосредовано	Всего		
Рабочая плоскость	261	43	304	/	/
Расчетные поверхности Машина для мийки деталей	278	44	322	/	/
Расчетные поверхности Прес	178	43	221	/	/
Расчетные поверхности Прес	311	38	349	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	178	32	209	/	/
Расчетные поверхности Підкатний вулканізатор	179	39	218	/	/
Расчетные поверхности Стенд випробувальний	187	43	229	/	/
Расчетные поверхности Дисковправний верстат	291	38	329	/	/
Расчетные поверхностиЗварювальний дуговий автомат	161	52	212	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	236	47	283	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	240	49	288	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	182	57	240	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	242	51	293	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	245	49	294	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	192	51	243	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	178	54	232	/	/
Расчетные поверхности Компресор повітряний	242	49	290	/	/
Расчетные поверхности Дисковправний верстат	280	41	322	/	/
Расчетные поверхности Дисковправний верстат	294	46	339	/	/
Расчетные поверхности Дисковправний верстат	315	44	359	/	/
Расчетные поверхности Дисковправний верстат	332	44	376	/	/
Расчетные поверхности Дисковправний верстат	302	41	342	/	/
Расчетные поверхности Дисковправний верстат	273	47	320	/	/
Расчетные поверхности Дисковправний верстат	191	51	242	/	/
Расчетные поверхности Дисковправний верстат	207	56	262	/	/
Расчетные поверхности					
Дисковправний верстат	296	47	342	/	/
Расчетные поверхности Дисковправний верстат	224	50	274	/	/
Расчетные поверхности Машина для мийки деталей	279	38	317	/	/

DIALux 4.13 by DIAL GmbH Сторона 8

Продовження табл.В1.

Проект штучного освітлення

DIALux

Поверхность	Средние освещенности [lx]			Коэффициент отражения [%]	Средняя Яркость [cd/m²]
	Напрямую	Опосредовано	Всего		
Расчетные поверхности Підкатний вулканізатор	311	45	356	/	/
Расчетные поверхности Підкатний вулканізатор	172	55	227	i	/
Расчетные поверхности Підкатний вулканізатор	300	46	346	/	/
Расчетные поверхности Підкатний вулканізатор	184	54	238	i	/
Расчетные поверхности Підкатний вулканізатор	241	47	288	/	/
Расчетные поверхности Підкатний вулканізатор	176	53	229	i	/
Расчетные поверхности Прес	190	52	241	/	/
Расчетные поверхности Прес	190	49	239	i	/
Расчетные поверхности Прес	203	52	254	/	/
Расчетные поверхности Підкатний вулканізатор	186	45	231	i	/
Расчетные поверхности Заарювальний дуговий автомат	171	46	218	/	/
Расчетные поверхностиЗаарювальний дуговий автомат	176	57	234	i	/
Полы	230	42	271	20	17
Потолок	0.00	57	57	70	13
Стенка 1	84	40	123	50	20
Стенка 2	94	45	139	50	22
Стенка 3	92	46	138	50	22
Стенка 4	86	42	128	50	20

Равномерность на рабочей плоскости
E_{min} / E_{cp}: 0.099 (1:10)
E_{min} / E_{max}: 0.081 (1:12)

Удельная подсоединенная мощность: 3.48 Wm² = 1.14 Wm²/100 lx (Поверхность основания: 1212.00 m²)

DIALux 4.13 by DIAL GmbH

Сторона 10