

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

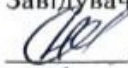
Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра теоретичної електротехніки

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

 Островерхов М.Я.

«16» 01 2024 р.

**Магістерська дисертація**

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Електротехнічні пристрої та  
електротехнологічні комплекси»

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»

на тему: «Енергоефективність освітлення нежитлових приміщень»

Виконав:

студент VI курсу, групи ЕВ-21 мп  
Линдюк Богдан Володимирович

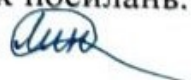


Науковий керівник: професор,  
доктор технічних наук  
Бойко Валерій Степанович



Рецензент: Доцент  
к.т.н. Бурик Микола Петрович



Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.  
Студент Линдюк Б.В. 

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Факультет електроенерготехніки та автоматики**  
**Кафедра теоретичної електротехніки**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Островерхов М.Я.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**

**Линдюку Богдану Володимировичу**

1. Тема дисертації «**Енергоефективність освітлення нежитлових приміщень**», науковий керівник дисертації професор, докт. техн. наук Бойко Валерій Степанович, затверджені наказом по університету від «03» листопада 2023 р. №5131-с
2. Термін подання студентом дисертації 05.01.2024
3. Об'єкт дослідження: нежитлове приміщення у вигляді лабораторії навчального закладу
4. Вихідні дані: Лабораторія 211 кафедри теоретичної електротехніки НТУУ КПІ: Площа приміщення 152,57 м<sup>2</sup>, висота приміщення 2,91 м, стеля типу Армстронг, освітлювальна система, яка складається з 24 LED панелей, потужністю 40 Вт кожна, кількість вікон – 6, площею 4.44 м<sup>2</sup> кожне, кількість робочих поверхонь – 46.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Розробити перелік основних вимог для забезпечення рівня освітлення робочих поверхонь відповідно до вимог державних норм України про природне та штучне освітлення. Адаптувати

існуючі методи розрахунку освітленості до об'єкту дослідження. Створити 3Д модель приміщення лабораторії 211 та, використовуючи її, визначити рівень освітленості робочих поверхонь. Розрахувати енергоефективність системи освітлення досліджуваного приміщення. На основі проведених досліджень розробити Стартап проєкт.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Схематичне зображення розташування робочих місць. 3Д вид нежитлового приміщення. Розташування LED панелей на стелі типу армстронг. Розташування робочих місць відносно світильників. Вигляд розрахункових площ. Рівень природної освітленості у сонячні та хмарні дні. Секторне розділення освітлювальної установки.

7. Орієнтовний перелік публікацій: 1. В.С. Бойко\*, докт. техн. наук, О.В. Шкардун, аспірант, Б.В. Линдюк «ЗАЛЕЖНІСТЬ НАПРУГИ НА СИЛОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕНТИЛЯХ КОМПЕНСАЦІЙНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВІД ЧАСТОТИ ПЕРЕМИКАНЬ ТРАНЗИСТОРІВ КОМУТУЮЧОЇ ЛАНКИ»//ЕНЕРГЕТИКА: економіка, технології, екологія. – Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2024 –№ 3 (2024).

2. Б.В. Линдюк, В.С. Бойко, докт. техн. наук, О.В. Шкардун, аспірант. //«ФОРМУВАННЯ НАПРУГИ НА КЛЮЧАХ КОМУТУЮЧОЇ ЛАНКИ ТРИФАЗНОГО МОСТОВОГО КОМПЕНСАЦІЙНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА»//Міжнародний науково-технічний журнал молодих вчених, аспірантів і студентів «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики». – 2023.

8. Дата видачі завдання 01.09.2023 р.

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка

1	Написання ВСТУПУ дипломної роботи.	01.11.2023 р.	
2	Написання РОЗДІЛУ 1. Основні поняття та визначення в сфері освітлення	07.11.2023 р.	
3	Аналіз природного освітлення та методів розрахунку штучного освітлення.	14.11.2023 р.	
4	Написання РОЗДІЛУ 2. Методи розрахунку освітлювальних мереж та рівня освітленості від штучного освітлення	21.11.2023 р.	
5	Визначення норми освітлення для робочих місць	01.12.2023 р.	
6	Написання РОЗДІЛУ 3. Аналіз якості освітлення нежитлового приміщення	07.12.2023 р.	
7.	Написання РОЗДІЛУ 4. Аналіз енергоефективності системи освітлення	14.12.2023 р.	
8.	Написання РОЗДІЛУ 5. Розробка СТАРТАП ПРОЄКТУ	21.12.2023 р.	
9.	Оформлення тексту магістерської дисертації	05.01.2024 р.	

Студент

Линдюк Богдан Володимирович

Науковий керівник

Бойко Валерій Степанович

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з п'яти розділів, містить 102 сторінки тексту. В тексті роботи наведено 22 рисунка, 11 таблиць та 12 бібліографічних найменувань за переліком посилань. Також наявні один аркуш графічного матеріалу формату А1.

Об'єктом дослідження являється лабораторія 211 кафедри теоретичної електротехніки, що знаходиться в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського».

Предметом дослідження є процес освітлення та рівень освітленості об'єкту обстеження.

Метою роботи є розробка рекомендацій щодо підвищення рівня енергоефективності освітлення нежитлових приміщень, перевірка на цій основі показників освітленості нежитлового приміщення у вигляді навчальної лабораторії на дотримання державних норм, та розробка заходів з усунення незадовільного освітлення робочих поверхонь.

Методи дослідження: інструментальне обстеження, методи аналітичного розрахунку, комп'ютерне моделювання, математичне моделювання.

Наукова новизна результатів: удосконалено метод комп'ютерного моделювання відповідно умов освітлення об'єкту дослідження. Отримано новий результат на основі якого розроблено рекомендації щодо підвищення енергетичної ефективності системи освітлення навчальної лабораторії.

Матеріали досліджень можуть бути використані на практиці при модернізації існуючих систем внутрішнього освітлення, а також у навчальному процесі вищих навчальних закладів при проведенні наукових досліджень.

Робота спрямована на зменшення обсягів споживання електричної енергії і викидів CO<sub>2</sub> шляхом оптимізації та удосконалення існуючих освітлювальних систем нежитлових приміщень. При цьому важливим завданням є підвищення якості освітлення та енергоефективності освітлювальних установок, що,

сприятиме збереженню здоров'я та забезпеченню комфорту людей, які знаходяться в нежитлових приміщеннях. У роботі створена теоретична база, на основі якої можливо оцінити роботу освітлювальних установок щодо технічних заходів, що сприятимуть підвищенню енергоефективності та якості освітлення нежитлового приміщення.

До загальних питань розкриття основної мети роботи відноситься інформація щодо основних величин та визначень у сфері освітлення, характеристика видів освітлення з наголосом на природне та штучне, аналіз державних норм України на освітлення загалом та зокрема, на освітлення нежитлових приміщень.

Базову теоретичну частину роботи складають методи розрахунку рівня освітленості для різних видів нежитлових приміщень, розрахунок якості та рівня освітленості нежитлового приміщення і аналіз енергоефективності освітлення нежитлового приміщення на прикладі навчальної лабораторії.

У роботі наведені дані результатів інструментальних досліджень рівня природного і штучного освітлення робочих поверхонь навчальної лабораторії 211. Описана система освітлення, яка поділена на п'ять секторів і у якій використовуються світлодіодні панелі (LED панелі). Наведені результати розрахунку нестачі чи перевищення встановленої норми освітлення для досліджуваного нежитлового приміщення. Розрахунки проведені для трьох варіантів природного освітлення: освітлення в похмурий день листопада, ясний день листопада та вересня. Остаточний висновок щодо рівня освітленості робочих поверхонь відповідно до Державних норм, зроблений із застосуванням методів математичного моделювання.

На основі проведеного дослідження розроблено стартап проєкт.

Ключові слова: ОСВІТЛЕНІСТЬ, НЕЖИТЛОВІ ПРИМІЩЕННЯ, КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, НОРМИ ОСВІТЛЕННЯ, ПРИРОДНЕ ОСВІТЛЕННЯ, ШТУЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ.

## ABSTRACT

The master's thesis consists of five chapters, contains 102 pages of text. The text of the work contains 22 figures, 11 tables and 12 bibliographic names according to the list of references. There is also one sheet of graphic material in A1 format.

The object of the research is laboratory 211 of the Department of Theoretical Electrical Engineering, which is located at the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after I. Sikorsky".

The subject of the study is the lighting process and the level of illumination of the object of examination.

The purpose of the work is to develop recommendations for increasing the level of energy efficiency of lighting of non-residential premises, to check on this basis the indicators of illumination of non-residential premises in the form of a training laboratory for compliance with state regulations, and to develop measures to eliminate unsatisfactory lighting of work surfaces.

Research methods: instrumental survey, analytical calculation methods, computer modeling, mathematical modeling.

Scientific novelty of the results: the method of computer modeling has been improved in accordance with the lighting conditions of the research object. A new result was obtained, on the basis of which recommendations were developed for improving the energy efficiency of the lighting system of the educational laboratory.

Research materials can be used in practice in the modernization of existing internal lighting systems, as well as in the educational process of higher educational institutions when conducting scientific research.

The work is aimed at reducing the amount of electricity consumption and CO<sub>2</sub> emissions by optimizing and improving the existing lighting systems of non-residential premises. At the same time, an important task is to improve the quality of lighting and the energy efficiency of lighting installations, which will help preserve the health and ensure the comfort of people who are in non-residential premises. The work creates a

theoretical base, on the basis of which it is possible to evaluate the operation of lighting installations in relation to technical measures that will contribute to increasing the energy efficiency and quality of lighting of non-residential premises.

The general questions of the disclosure of the main purpose of the work include information on the main values and definitions in the field of lighting, characteristics of types of lighting with an emphasis on natural and artificial, analysis of state norms of Ukraine on lighting in general and, in particular, on the lighting of non-residential premises.

The basic theoretical part of the work consists of methods for calculating the level of illumination for various types of non-residential premises, calculating the quality and level of illumination of a non-residential premises and analyzing the energy efficiency of lighting a non-residential premises using the example of an educational laboratory.

The paper presents data on the results of instrumental research on the level of natural and artificial lighting of the working surfaces of educational laboratory 211. The lighting system is described, which is divided into five sectors and uses LED panels (LED panels). The results of the calculation of the lack or excess of the established standard of lighting for the investigated non-residential premises are given. Calculations were made for three options of natural lighting: lighting on a cloudy day in November, a clear day in November and September. The final conclusion regarding the level of illumination of work surfaces in accordance with State norms was made using mathematical modeling methods.

A start-up project was developed on the basis of the conducted research.

Keywords: LIGHTING, NON-RESIDENTIAL PREMISES, COMPUTER MODELING, LIGHTING STANDARDS, NATURAL LIGHTING, ARTIFICIAL LIGHTING.

## Зміст

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	10
ВСТУП .....	11
РОЗДІЛ 1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ В СФЕРІ ОСВІТЛЕННЯ .....	16
1.1 Основні світлові величини та одиниці що їх вимірюють .....	16
1.2 Види освітлення .....	29
1.2.1 Природне освітлення .....	31
1.2.2 Штучне освітлення.....	32
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ МЕРЕЖ ТА РІВНЯ ОСВІТЛЕНОСТІ ВІД ШТУЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ .....	35
2.1 Розрахунок електричного освітлення .....	35
2.2 Розрахунок освітлення за методом коефіцієнта використання .....	38
2.3 Розрахунок освітлення за методом питомої потужності.....	42
2.4 Розрахунок освітлення за точковим методом .....	44
2.5 Розрахунок прожекторного освітлення .....	49
2.6 Розрахунок електричної освітлювальної мережі .....	56
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ЯКОСТІ ОСВІТЛЕННЯ НЕЖИТЛОВОГО ПРИМІЩЕННЯ .....	66
3.1 Державні норми України про природне та штучне освітлення .....	66
3.2 Визначення норми освітлення для робочих місць .....	68
3.3 Розрахунок електричного освітлення лабораторії.....	71
РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ.....	90
РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ.....	96
5.1 Опис ідеї проєкту .....	96
5.2 Етапи реалізації проєкту .....	97
5.3 Переваги та недоліки .....	100
5.4 Вартість реалізації .....	101
ВИСНОВКИ.....	106
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	108
Додатки	
• Креслення нежитлового приміщення	

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ДС – джерело світла

ККД – коефіцієнт корисної дії

КПО – коефіцієнт природної освітленості

КРЗ – криві рівних значень

КСС – крива сили світла

ОУ – освітлювальна установка.

СП – світловий потік

ПРА – пусково регулюючий апарат

LED – Light Emitting Diode

RGB – red-green-blue

## ВСТУП

Із зростанням технологічного рівня людського суспільства, пропорційно зростає потреба в енергії. Але можливість згенерувати потрібну кількість енергії не є нескінченною, тому, замість того щоб збільшувати кількість генерованої енергії, є можливість зменшити потребу в енергії шляхом її більш ефективного використання. Енергоефективність в сфері освітлення нежитлових приміщень є одним із реалізованих способів ефективного використання енергії (електроенергії). Цей спосіб вигідний не лише з економічної сторони, але й з екологічної і соціальної. Важливість цього підходу полягає в декількох ключових аспектах:

– зменшення споживання електричної енергії: Освітлення є одним з основних джерел споживання електроенергії в приміщеннях (до 20 відсотків всієї виробленої електроенергії)[1]. Енергоефективні освітлювальні системи, такі як LED-лампи, дозволяють зменшити споживання електроенергії і, як наслідок, знизити електроенергетичні витрати;[2]

– зменшення викидів CO<sub>2</sub>: Основна частина загального об'єму викидів CO<sub>2</sub> в атмосферу, припадає на теплові електростанції. Використання електроенергії на освітлення з 2002 року спричиняє щорічні викиди в атмосферу до 300 млн. тон вуглекислого газу. Зменшення споживання енергії в сфері освітлення сприяє зниженню викидів парникових газів, таких як CO<sub>2</sub> [1]. Це сприяє збереженню довкілля та спрямовує нашу планету в більш сталому і екологічно безпечному напрямку;

– зниження операційних витрат: Освітлення, що має хорошу енергоефективність допомагає власникам нежитлових приміщень знизити операційні витрати шляхом зменшення необхідної кількості електричної енергії на роботу штучного освітлення. Зменшення витрат на електроенергію позитивно впливає на фінансову стійкість підприємства або установи;

- покращення якості освітлення: Енергоефективні системи освітлення можуть забезпечувати якісне та рівномірне освітлення приміщень, що сприяє комфорту працівників, покращує їхню продуктивність та забезпечує умови, при яких здоров'ю працівникам нічого не загрожує. Недостатнє освітлення, а також мерехтіння й шум джерел світла, навпаки, негативно впливають на організм людини; [3]

- дотримання стандартів та нормативів: Багато країн встановлюють обов'язкові стандарти та нормативи щодо енергоефективності приміщень. Дотримання цих вимог є обов'язковим, інакше може виникнути негативний вплив на діяльність підприємства або установи.

В цілому, енергоефективність в сфері освітлення нежитлових приміщень важлива як для заощадження ресурсів і коштів, так і для збереження навколишнього середовища і забезпечення комфорту та безпеки для користувачів приміщень. Тому розробка та впровадження енергоефективних рішень в сфері освітлення є актуальною та вигідною стратегією для будь-якої організації або підприємства.

Чудовим способом знизити енергозатрати на освітлення, є модернізація освітлювальної системи описана в джерелах [1],[3],[4]:

- застосування світлодіодних систем освітлення: Перехід від застарілих ламп і люмінесцентних ламп на сучасні LED-світильники може суттєво знизити споживання електроенергії, оскільки LED-лампи відомі своєю високою ефективністю і довговічністю;

- створення локальних зон освітлення: Відмова від загального освітлення на користь локальних зон зменшує зайве споживання енергії, оскільки освітлення вмикається лише там, де це дійсно необхідно;

- використання датчиків руху: Установка датчиків руху дозволяє автоматично регулювати інтенсивність освітлення в залежності від присутності людей. Це допомагає уникнути надмірного освітлення порожніх приміщень;

- поділ груп освітлення на зони: Розділення освітлення на окремі зони, орієнтовані на підрозділи або служби, сприяє більш точному контролю та можливості преміювання ефективних підрозділів за зниження споживання електроенергії;
- регулярне обслуговування та очищення: Підтримка в чистоті освітлювальних приладів і їх регулярне очищення дозволяють зберегти оптимальну якість освітлення і підвищити енергоефективність;
- використання світло-відбивних панелей: Встановлення світло-відбивних панелей допомагає рівномірно розподіляти світло в приміщенні, забезпечуючи ефективне освітлення без необхідності установки додаткових світильників;
- використання диммерів і таймерів: Встановлення диммерів дозволяє регулювати інтенсивність освітлення в залежності від потреби, а використання таймерів дозволяє автоматизувати вимкнення світла в непрацюючий час, що знижує надмірне споживання енергії;
- використання природного світла: Використання природного світла завдяки вікнам, світлопроводам або скляним перегородкам може значно зменшити потребу у штучному освітленні в приміщенні;
- впровадження системи "світло на запит": Системи, які дозволяють користувачам включати світло тільки в області, де вони знаходяться (наприклад, за допомогою сенсорів або пульта), зменшують зайве освітлення та споживання електроенергії;
- використання енергоефективних матеріалів для внутрішнього обладнання: Вибір світлодіодних світильників, які мають високу коефіцієнт світлового потоку на один ватт (lm/W), може підвищити ефективність освітлення;
- використання систем управління освітленням: Впровадження систем управління, таких як системи "розумний будинок", дозволяє дистанційно

керувати освітленням і оптимізувати його роботу для забезпечення максимальної енергоефективності;

– навчання користувачів: Проведення навчання та інформаційних кампаній серед користувачів про правильне використання та економне споживання світла може значно підвищити ефективність освітлення в будинку або офісі.

Усі ці заходи сприяють зменшенню споживання енергії та зменшенню витрат, забезпечуючи водночас комфортне та продуктивне освітлення для користувачів приміщення. Важливо враховувати ці аспекти при розробці та впровадженні плану для збільшення енергоефективності в сфері освітлення нежитлових приміщень.

Тому, спираючись на весь матеріал, викладений вище, можна зробити висновок про актуальність сформульованої теми роботи.

**Метою магістерської дисертації** є розробка рекомендацій щодо підвищення рівня енергоефективності освітлення нежитлових приміщень, перевірка на цій основі показників освітленості нежитлового приміщення у вигляді навчальної лабораторії на дотримання державних норм, та розробка заходів з усунення незадовільного освітлення робочих поверхонь.

**Об'єктом дослідження** являється лабораторія 211 кафедри теоретичної електротехніки, що знаходиться в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського» .

**Предмет дослідження:** є процес освітлення та рівень освітленості об'єкту обстеження.

**Методи дослідження:** інструментальне обстеження, методи аналітичного розрахунку, комп'ютерне моделювання, математичне моделювання.

**Завдання:** Розрахунок та перевірка електричного освітлення об'єкту обстеження на дотримання державних норм що до освітлення, визначення енергоефективності системи освітлення.

**Наукова новизна результатів:** удосконалено метод комп'ютерного моделювання відповідно умов освітлення об'єкту дослідження. Отримано новий результат на основі якого розроблено рекомендації щодо підвищення енергетичної ефективності системи освітлення навчальної лабораторії.

Матеріали досліджень можуть бути використані на практиці при модернізації існуючих систем внутрішнього освітлення, а також у навчальному процесі вищих навчальних закладів при проведенні наукових досліджень.

# РОЗДІЛ 1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ В СФЕРІ ОСВІТЛЕННЯ

## 1.1 Основні світлові величини та одиниці що їх вимірюють

У галузі світлотехніки, де головним приймачем випромінювання є людське око, для оцінки ефективності випромінювання вводиться поняття світлового потоку, який позначається буквою  $\Phi$  [5].

Світловий потік представляє собою кількість випромінювання, яка враховує його вплив на людське око, де відносна спектральна чутливість ока визначається середньою кривою спектральної ефективності, яка була затверджена Міжнародною комісією з освітлення [5].

У світлотехніці використовується і таке визначення світлового потоку: світловий потік - це потужність світлової енергії. Одиниця світового потоку - люмен (лм). Люмен – це 1/683 Ватт або 1 кандел (кд), світлового монохроматичного, тобто одного кольору, випромінювання з довжиною хвилі 555 нм, що відповідає максимуму кривій спектральній чутливості ока. Величина 1/683 виникла історично, тому що раніше головним джерелом світла були звичайні свічки [6][5].

Світловий потік розповсюджується приблизно рівномірно, проте завдяки дзеркалам і лінзам можна керувати напрямком світла, збираючи його в конкретних областях простору [6]. Частина цього простору характеризується поняттям "тілесний кут". У світлотехніці, хоча це поняття не є основним, воно знаходить широке застосування[6].

Тілесний кут визначається як відношення площі, обмеженої даним кутом на поверхні сфери радіусом  $R$ , до квадрата цього радіусу.

Тілесний кут позначається як  $\Omega$  і вимірюється в стерadianах. Графічне зображення відношення можна побачити на рис. 1.1, на якому джерело світла

представлено зображенням лампочки, а освітлювальна площа позначена літерою  $S$  [6].

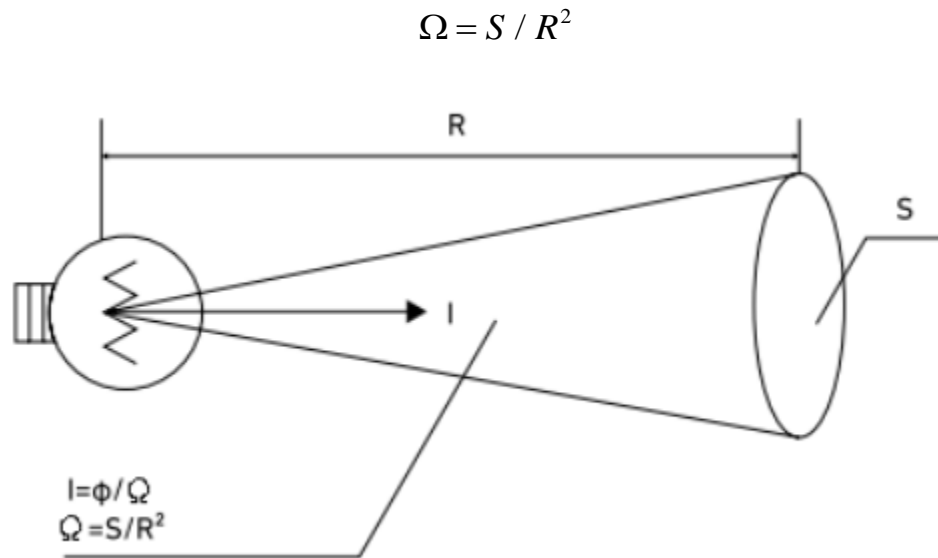


Рисунок 1.1 – Графічне зображення визначення тілесного кута

Окрім визначення світлового потоку, до складу основних світлових величин входять:

- потік випромінювання;
- сила світла;
- освітленість;
- світність;
- яскравість;
- коефіцієнт відбиття.

Названі світлові величини, згідно з джерелами [5],[6] мають наступне визначення і пояснення.

#### **Потік випромінювання[5],[6]:**

Енергія, що виділяється джерелом світла у простір, залежить від кількості квантів, які випромінюються. Ця енергія, також відома як променева енергія, вимірюється в одиницях джоулів. Кількість енергії, яка випромінюється протягом одиниці часу, називається променевим потоком або потоком випромінювання. Міра цього потоку вимірюється в ватах і позначається як  $\Phi_e$ .

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt},$$

де  $Q_e$  – енергія випромінювання, Дж.

Характеристики потоку випромінювання визначаються розподілом енергії у часі та просторі. Під час аналізу розподілу потоку випромінювання в часі, зазвичай не враховують квантовий характер виникнення випромінювання. Замість цього, розглядається функція, що визначає зміну миттєвих значень потоку випромінювання, позначену як  $\Phi(t)$ . Це відображає практичну норму, оскільки кількість фотонів, що випромінюється джерелом в одиницю часу, зазвичай є дуже великою.

Джерела потоку випромінювання поділяють за спектральним розподілом на три класи: з лінійчатим, смугастим і суцільним спектрами. Джерело потоку випромінювання з лінійчатим спектром складається з монохроматичних потоків окремих ліній:

$$\Phi_e = \Phi_{\lambda_1} + \Phi_{\lambda_2} + \dots + \Phi_{\lambda_n},$$

де  $\Phi_{\lambda}$  – монохроматичний потік випромінювання, лм;

$\Phi_e$  – потік випромінювання, лм.

У джерел із смугастим спектром випромінювання відбувається на відносно широких ділянках спектру, які розділені темними проміжками.

### **Сила світла[5],[6]:**

Розподіл випромінювання реального джерела світла в навколишньому просторі неоднаковий. Тому світловий потік не може однозначно характеризувати джерело, якщо не враховується розподіл випромінювання в різних напрямках навколишнього простору. Для оцінки цього розподілу світлового потоку застосовується поняття просторової щільності світлового потоку в різних напрямках навколишнього простору. Просторова щільність світлового потоку, визначена як відношення світлового потоку до тілесного кута

з вершиною в точці розміщення джерела, де цей потік рівномірно розподілений, отримує назву "сила світла".

$$I = \frac{d\Phi}{dw},$$

де  $\Phi$  – світловий потік, кд;

$w$  – тілесний кут, ср.

Одиницею вимірювання сили світла є кандела, позначається як 1 кд. Слово кандела переводиться як свічка. Ця одиниця визначає силу світла, яке випромінюється в перпендикулярному напрямку від елемента поверхні чорного тіла площею  $1/600,000 \text{ м}^2$  при температурі затвердіння платини. Кандела також може бути виражена у люменах на стерadian, тобто  $1 \text{ кд} = 1 \text{ лм} \cdot \text{ср}^{-1}$ .

#### **Освітленість[5],[6]:**

Освітленість визначається як кількість світла або світлового потоку, яка припадає на одиницю площі поверхні. Позначається ця величина буквою  $E$  і вимірюється в люксах (лк).

Один люкс еквівалентний одному люмену на кожен квадратний метр ( $\text{лм}/\text{м}^2$ ). Освітленість можна розглядати як щільність світлового потоку, який падає на площу освітлюваної поверхні.

$$E = \frac{\Phi}{S},$$

де  $\Phi$  – світловий потік, кд;

$S$  – площа освітлюваної поверхні,  $\text{м}^2$ .

У таблиці 1.1, для прикладу наведено декілька прикладів освітленості.

Таблиця 1.1 – Освітленість

Літо, ясний день	100 000 лк
Вуличне освітлення	5-30 лк
Повний місяць у безхмарну ніч	0,25 лк

В практиці розрахунку освітлювальних систем часто необхідно визначити освітленість на площі, використовуючи відому силу світла джерела випромінювання. Взаємозв'язок між цими двома параметрами можна встановити наступним чином.

Припустимо, що у нас є точкове джерело світла  $A$  (Рис. 1.2), яке освітлює елементарний ділянку  $dS$  на поверхні  $q$ . Сила світла джерела, що направлена на цю освітлювану площу, позначається як  $I_d$ .

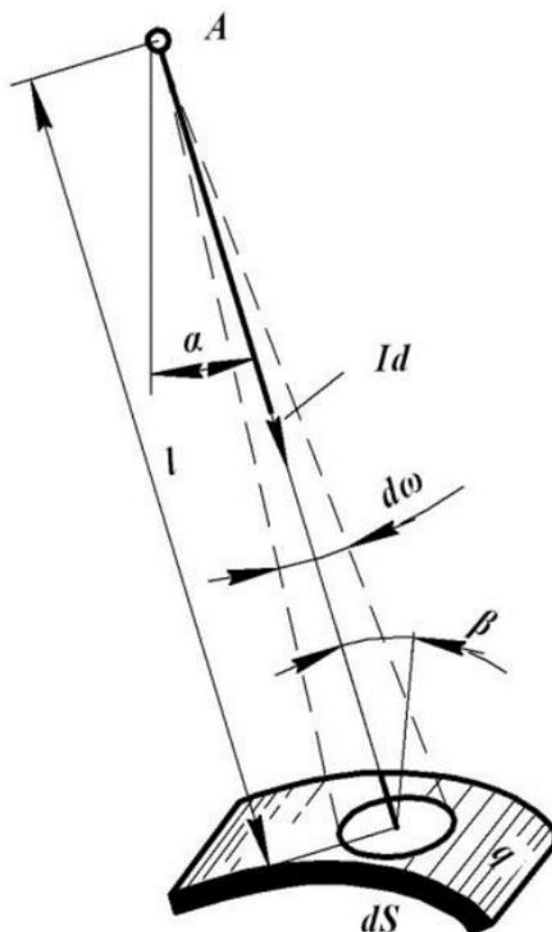


Рисунок 1.2 – До висновку про відношення між силою світла і освітленістю

Кут між нормаллю до маленького елемента поверхні і напрямком сили світла позначається як  $\beta$ . Елементарний тілесний кут  $d\omega$ , який визначає область,

де розподіляється світловий потік, який падає на невеликий ділянку  $dS$ , можна обчислити за допомогою простих геометричних відношень.

$$d\omega = \frac{dS \cos \beta}{l^2},$$

Тоді світловий потік, який приходить на елементарний ділянку  $dS$ ,

$$dF = I_d d\omega = \frac{I_d dS \cos \beta}{l^2},$$

Освітленість майданчика  $dS$  може бути обчислена за допомогою наступного виразу:

$$E = \frac{dF}{dS} = \frac{I_d \cos \beta}{l^2},$$

Отже, освітленість на поверхні в конкретній точці пропорційна силі світла і косинусу кута між вектором сили світла та нормаллю до освітлюваної поверхні, та обернено пропорційна квадрату відстані від джерела світла до цієї точки.

#### **Світність[5],[6]:**

Для опису поверхонь, які випромінюють світло через них або відображають його, використовується поняття світності. Ця величина визначається як відношення світлового потоку, який випромінює або відображається від елемента поверхні, до площі цього елемента:

$$E = \frac{d\Phi}{dS},$$

Світність - це міра щільності світлового потоку, який випромінюється світловою поверхнею. Одиницею вимірювання світності є люмен на кожен квадратний метр світлової поверхні, що відповідає поверхні площею  $1 \text{ м}^2$ , з якої рівномірно випромінюється світловий потік  $1 \text{ лм}$ . У випадку загального випромінювання також використовується поняття енергетичної світності випромінюючого тіла ( $M_e$ ), яка вимірюється в  $\text{Вт}/\text{м}^2$ . Світність в такому випадку можна виразити через спектральну щільність енергетичної світності випромінюючого тіла  $M_{e\lambda}(\lambda)$ :

$$M = 683 \int_0^{\infty} M_{e\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda.$$

Для порівняльної оцінки, наведемо енергетичні світності деяких поверхонь:

- поверхня сонця:  $M_e = 6 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup>;
- нитка лампи розжарювання:  $M_e = 2 \cdot 10^5$  Вт/м<sup>2</sup>;
- поверхня сонця в zenіті:  $M = 3,1 \cdot 10^9$  лм/м<sup>2</sup>;
- колба люмінесцентної лампи:  $M = 22 \cdot 10^3$  лм/м<sup>2</sup>.

### Яскравість[5],[6]:

Яскравість поверхні  $S$  визначається як відношення сили світла, яке випромінюється цією поверхнею у будь-якому напрямку, до площини проекції цієї поверхні на площину, перпендикулярну обраному напрямку (Рис. 1.3). Одиницею виміру яскравості є кандела на кожен квадратний метр (кд/м<sup>2</sup>).

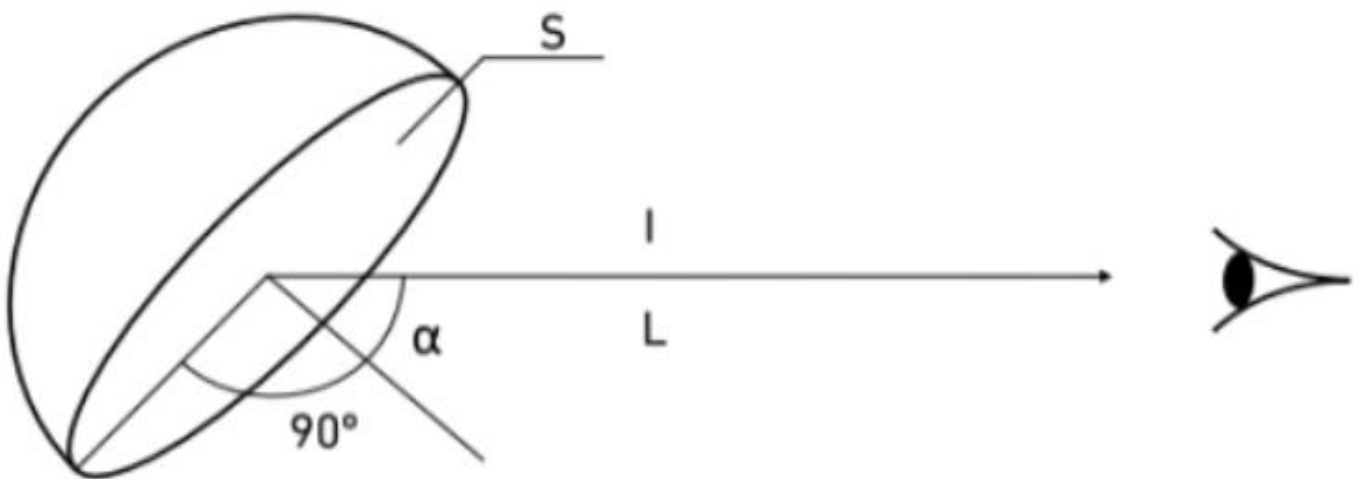


Рисунок 1.3 – Графічне зображення визначення яскравості

Площа проекції будь-якої плоскої поверхні на іншу площину рівна площі цієї поверхні, помноженій на косинус кута між площинами. Яскравість позначається як  $L$ .

$$L = \frac{I}{S \cos \alpha},$$

де  $I$  – це сила світла поверхні в певному напрямку, кд;

$S$  – площа цієї поверхні, м<sup>2</sup>;

$\alpha$  – кут між перпендикуляром до площини та напрямком в якому ми хочемо знати яскравість.

Поверхні можуть випромінювати світло самостійно, як це відбувається на поверхні лампи, або відбивати світло, яке приходить з інших джерел, наприклад, поверхні дороги. Поверхні з різними характеристиками відбиття при однаковій освітленості матимуть різний рівень яскравості.

У таблиці 1.2 наведена яскравість деяких джерел.

Таблиця 1.2 – Значення яскравості

Назва	Яскравість
Поверхня сонця	2 000 000 000 кд/м <sup>2</sup>
Люмінісцентна лампа	5 000 до 15 000 кд/м <sup>2</sup>
Поверхня повного місяця	2500 кд/м <sup>2</sup>
Штучне освітлення дороги (30 лк)	2 кд/м <sup>2</sup>

Для одиниці вимірювання яскравості використовується світлова величина, яка відповідає яскравості поверхні, що випромінює силу світла в 1 канделу з одного квадратного метра в напрямку, перпендикулярному до цієї поверхні, тобто 1 кд/м<sup>2</sup>.

Серед названих світлових величин виділяються: світловий потік, сила світла, освітленість і яскравість.

Вказані величини є необхідними для пояснення роботи джерел світла і освітлювальних приладів.

Однак для повного розуміння необхідно також знати світлотехнічні властивості матеріалів.

Також, згідно джерела [6], на яскравість впливають такі параметри як:

- коефіцієнт відбиття;
- спектральні характеристики;
- колірна температура;
- RGB.

Названі параметри, згідно з джерелом [6] мають наступне визначення і пояснення:

#### **Коефіцієнт відбиття[5],[6]:**

Яскравість об'єктів залежить від їх властивостей відбивати світло, що виражається коефіцієнтом відбиття ( $\rho$ ).

Коефіцієнт відбиття визначається як відношення світлового потоку, який відбивається від поверхні, до світлового потоку, що падає на цю поверхню від будь-якого джерела світла:

$$\rho = \Phi_{\text{відбитий}} - \Phi_{\text{падаючий}}$$

Чим більший коефіцієнт відбиття, тим яскравіший об'єкт виглядає.

Коефіцієнт відбиття матеріалів залежить від їх властивостей та обробки поверхні. Відбиття може бути направленим в одну сторону або розсіяним в певному тілесному куті.

Наприклад, білий папір відбиває світло рівномірно у всіх напрямках, що відомо як дифузне або розсіяне відбиття (Рис. 1.4,в).

З іншого боку, поліруючи шершаву поверхню, і зробивши поверхню відполірованою, можна отримати дзеркальне відбиття, де кут відбиття дорівнює куту падіння світла (Рис. 1.4,а).

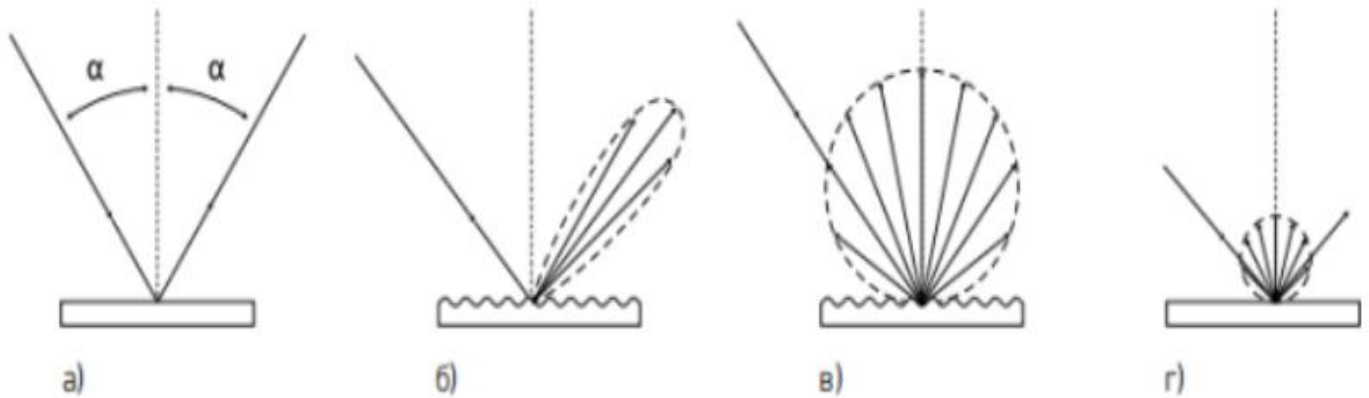


Рисунок 1.4 – Види відбиття ( а – дзеркальне; б – направлено-розсіяне; в – дифузне; г – змішане)

Також існує направлено-розсіяне відбиття (Рис. 1.4,б) та змішане відбиття (Рис. 1.4,г).

Крива, яка описує кутовий розподіл коефіцієнта відбиття, називається індикатрисою відбиття.

Для поверхонь з дифузним відбиття яскравість пов'язана з освітленням:

$$L_{\text{диф}} = E \cdot \rho / \pi$$

де  $L_{\text{диф}}$  – яскравість дифузного відбиття, кд/м<sup>2</sup>;

$E$  – освітленість, лк;

$\rho$  – коефіцієнт відбиття.

Яскравість дзеркальної поверхні ( $L_{\text{дзерк}}$ ) дорівнює яскравості відображених об'єктів ( $L_{\text{відб. предмет}}$ ), помноженій на коефіцієнт відбиття ( $\rho$ ):

$$L_{\text{дзерк.}} = L_{\text{відб. предмет.}} \cdot \rho$$

У природі немає матеріалів, які відбивають усе падаюче світло (тобто з коефіцієнтом відбиття  $\rho=1$ ). Частина світла, яка не відбивається, розділяється на дві частини: одна проходить через матеріал (визначається коефіцієнтом пропускання  $\tau$ ), а інша поглинається матеріалом (визначається коефіцієнтом поглинання  $\alpha$ ):

$$\tau = \Phi_{\text{пропуск.}} / \Phi_{\text{падаюч.}}$$

$$\alpha = \Phi_{\text{поглин.}} / \Phi_{\text{падаюч.}}$$

де  $\Phi_{\text{пропуск.}}$  – частина світлового потоку, що проходить через матеріал, лм;

$\Phi_{\text{падаюч.}}$  – світловий потік, що потрапляє на матеріал, лм;

$\Phi_{\text{поглин.}}$  – частина світлового потоку, що поглинається матеріалом, лм.

Відношення між цими коефіцієнтами( $\alpha$ ,  $\tau$ ,  $\rho$ ) може бути різним, але сума трьох коефіцієнтів повинна дорівнювати 1:

$$\alpha + \tau + \rho = 1$$

В природі немає матеріалів, де один з коефіцієнтів дорівнює 1.

Більшість матеріалів різноманітно поглинає, відбиває або пропускає світло різної довжини хвилі, тобто різного кольору. Ця властивість матеріалів визначає їхній колір.

Для повної характеристики світлотехнічних властивостей матеріалів важливо знати не тільки абсолютні значення їх коефіцієнтів відбиття, поглинання та пропускання, але й розподіл цих властивостей в просторі за довжиною хвилі.

### **Спектральні характеристики[5],[6]:**

Розподілення світла за довжиною хвилі визначається спектральними характеристиками.

Спектральний склад і характеристики відбиття або пропускання матеріалів визначають колір світла.

Для докладного опису кольору було створено декілька колориметричних систем, серед яких найпоширенішою є система координат кольоровості.

На рис. 1.5 представлено поле реальних кольорів. Обмежувальна лінія, яка називається локусом, відображає довжини хвиль монохроматичного випромінювання, сприйняті око людини від 420 нм до 700 нм. Довжини хвиль коротше 420 нм не сприймаються око людини як різні кольори, а замість цього сприймаються як різні відтінки червоного і фіолетового.

Кінці локусу з'єднані прямою лінією "пурпурних кольорів", які виникають не внаслідок монохроматичного випромінювання, а в результаті змішування в певних пропорціях фіолетового і червоного кольорів. Усередині області, обмеженої локусом і замикаючої його кінці, розташовані всі існуючі в природі кольори. Кожному кольору відповідають точні координати кольоровості  $x$  і  $y$ . Таким чином, будь-який колір може бути виражений за допомогою двох координат кольоровості,  $x$  і  $y$ , і інтенсивності випромінювання (наприклад, темно-червоний, світло-червоний і т. д.).

### **Колірна температура[5],[6]:**

Середня частина колірного поля представляє область білих кольорів. На цій частині виділена товстою лінією крива теплового випромінювання, що представляє собою криву координат кольоровості білого світла, отриманого при нагріванні абсолютно чорного тіла до певної температури (Рис. 1.5). Колір випромінювання теплових джерел світла, таких як лампи розжарювання, дуже точно відповідає цій кривій. Температура тіла, яке випромінює світло, при якій його колір найбільш близький до кольору абсолютно чорного тіла, називається колірною температурою ( $T_c$ ).

Біле світло газорозрядних джерел світла зазвичай розташоване поза кривою теплового випромінювання. Кольоровість випромінювання таких джерел оцінюється за корелятивною колірною температурою, тобто температурою теплового випромінювання, найбільш близького за кольором до порівнюваного джерела.

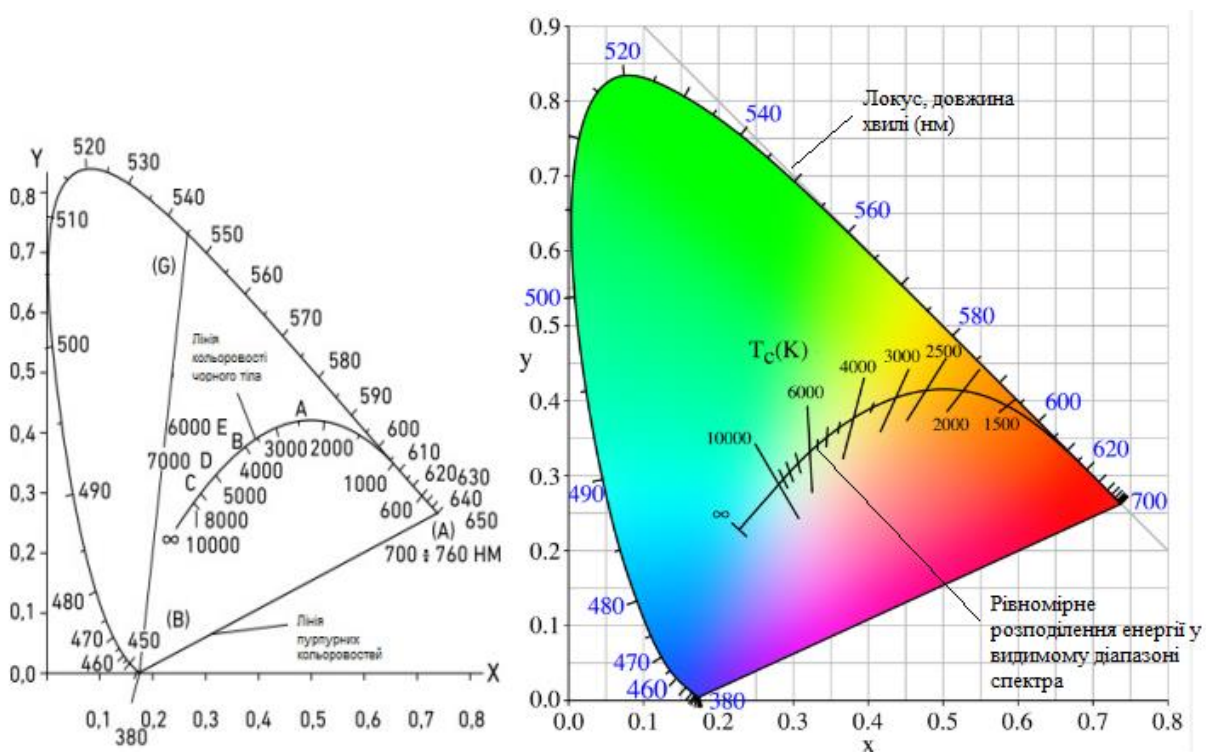


Рисунок 1.5 – Колірна температура

### RGB [5],[6]:

Колірний графік, представлений на рис. 1.5, виявляє цікаву властивість: сумуючи випромінювання двох різних кольорів, координати отриманої кольоровості завжди будуть лежати на прямій лінії, що з'єднує початкові координати кольорів. Змішуючи три кольори, можна отримати будь-який колір, який знаходиться всередині трикутника, утвореного точками координат початкових кольорів. Логічно вважати основними три кольорами червоний, зелений і синій (німецькою – rot, grün, blau, англійською – red, green, blue). Комбінуючи ці кольори в різних пропорціях, можна отримати безліч нових кольорів всередині трикутника.

Чим ближче до локусу і чим далі один від одного розташовані координати початкових кольорів, тим більше площа трикутника і, відповідно, більше колірних відтінків можна отримати. Технологія отримання нових кольорів на основі червоного, зеленого і синього випромінювання відома як "технологія RGB" за першими літерами іноземних назв основних кольорів. Вона широко

використовується, наприклад, у RGB-світлодіодах для створення різних колірних ефектів, таких як світлодіодні стрічки.

## 1.2 Види освітлення

Вид освітлення може змінюватися в залежності від того, яке джерело лежить в основі системи освітлення. Згідно з [7], джерело світла може бути природним, штучним та змішаним.

Природне освітлення виникає за рахунок прямих сонячних променів та розсіяного світла небосхилу.

Штучне освітлення створюється електричними джерелами світла, такими як лампи. Змішане освітлення виникає, коли природне освітлення не відповідає нормам і доповнюється штучним світлом, щоб забезпечити необхідний рівень освітленості.

Також, про названі види освітлення в [7], зазначають наступну інформацію:

Природне освітлення поділяється на кілька видів:

- **бокове освітлення (одно- або двобічне).** Освітлення, здійснюване через світлові отвори (вікна) в зовнішніх стінах;
- **верхнє освітлення.** Освітлення, здійснюване через отвори (ліхтарі) в дахах і перекриттях;
- **комбіноване освітлення.** Поєднання верхнього та бокового освітлення.

Щодо штучного освітлення, воно може бути розподілене за функціональним призначенням на декілька видів:

- **загальне освітлення.** Розміщення світильників у верхній зоні приміщення ( не нижче 2,5 м над підлогою) для здійснення загального рівномірного освітлення;

- **місцеве освітлення.** Створення світлих зон на робочих місцях за допомогою світильників, що концентрують світловий потік;
- **комбіноване освітлення.** Поєднання загального та місцевого освітлення, що може бути застосоване для робіт високої точності або для створення певного напрямку світла.

Використання тільки місцевого освітлення у виробничих місцях заборонено.

Щодо штучного освітлення за функціональним призначенням, його можна розділити на:

- **робоче освітлення.** Створення необхідних умов для нормальної трудової діяльності людини;
- **чергове освітлення.** Знижений рівень освітлення у неробочий час;
- **аварійне освітлення.** Аварійне освітлення активується при вимиканні робочого освітлення. Світильники аварійного освітлення живляться від автономного джерела і повинні забезпечувати освітленість, не менше 5% величини робочого освітлення, але не менше 2 лк на робочих поверхнях виробничих приміщень і не менше 1 лк на території підприємства;
- **евакуаційне освітлення.** Вмикається для евакуації людей з приміщення під час виникнення небезпеки. Це освітлення встановлюється у виробничих приміщеннях з кількістю працюючих більше 50, а також у приміщеннях громадських та допоміжних приміщень промислових підприємств, якщо в них одночасно можуть знаходитися більше 100 чоловік. Евакуаційна освітленість у приміщеннях повинна бути не менше 0,5 лк, поза приміщенням – не менше 0,2 лк;
- **охоронне освітлення.** Створення освітленості вздовж межі охоронних територій та забезпечення необхідного рівня світла.

### 1.2.1 Природне освітлення

Згідно з [7], рівень природного освітлення в приміщеннях піддається впливу кількох факторів. Спочатку, світловий клімат, який залежить від географічного положення місця, площі та орієнтації світлових отворів, впливає на освітлення. Також важливою є конструкція вікон, чистота скла, геометричні параметри приміщень та властивості відбивання поверхонь. Зовнішнє та внутрішнє затемнення світла об'єктами також грає роль у цьому контексті.

Оскільки природне освітлення не є постійним у часі, його кількісну оцінку здійснюється за допомогою відносного показника - коефіцієнта природної освітленості (*КПО*)[7]:

$$КПО = (E_{вн} / E_{зовн}) \cdot 100\%,$$

де  $E_{вн}$  – природна освітленість в даній точці площини всередині приміщення, створена світлом неба (безпосереднього або після відбиття), лк;

$E_{зовн}$  – зовнішня горизонтальна освітленість, створена світлом у той самий час при повністю відкритому небосхилі, лк.

В основі стандартизації освітлення виробничих приміщень лежить принцип визначення необхідного рівня освітлення, який залежить від зорової напруги, що визначається обсягом визначення об'єкта, контрастом між об'єктом і фоном, а також характеристиками фону. Цей підхід спрямований на врахування особливостей зорової роботи.

Стандартизація освітлення в громадських, допоміжних та житлових приміщень проводиться відповідно до функціонального призначення конкретного приміщення.

При розробці системи природного освітлення враховується, що яскравість усередині приміщення залежить від двох джерел світла: світла, що надходить від неба і безпосередньо попадає на робочу поверхню, і світла, яке відбивається від внутрішніх поверхонь приміщення та сусідніх приміщень.

### 1.2.2 Штучне освітлення

Згідно з [7], штучне освітлення передбачається для всіх внутрішніх приміщень, а також для відкритих робочих ділянок, місць пересування людей та руху транспорту.

Проектування штучного освітлення включає дві системи: загальне (рівномірне або локалізоване) та комбіноване (до загального додається місцеве). Нормативним параметром при штучному освітленні є абсолютне значення освітленості, що залежить від характеристик зорової праці та системи освітлення (загальна, комбінована). Визначено вісім розрядів (залежно від розміру об'єкта розпізнавання), кожен із яких має чотири підрозряди (а, б, в, г), що враховують контраст між об'єктом і фоном та характеристики фону (коефіцієнт відбиття). Максимальна нормативна освітленість становить 5000 лк (розряд I а), а мінімальна - 30 лк (розряд VIII в). Згідно з [7], в штучному освітленні використовуються лампи розжарювання та газорозрядні лампи як джерела світла. Основними характеристиками цих джерел світла є номінальна напруга, споживана потужність, світловий потік, питома світлова віддача та строк служби.

Лампи розжарювання генерують видиме світло завдяки нагрітій до високої температури нитці з тугоплавкого матеріалу. Світловий потік цих ламп залежить від споживаної потужності та температури нитки. Вони вигідні для виробництва, надійні в експлуатації, але характеризуються невеликою світловою віддачею (10–15 лм/Вт), обмеженим строком служби (приблизно 1000 годин) та непридатністю спектрального складу світла, де переважають жовтий та червоний кольори за відсутності синього та фіолетового, що ускладнює розпізнавання кольорів у порівнянні з природним світлом [7].

У газорозрядних лампах балон наповнюється паровою ртуттю та інертним газом, при цьому на внутрішню поверхню балона може наноситися люмінофор. Ці лампи поділяються на люмінесцентні лампи низького тиску і високого тиску.

Люмінесцентні лампи характеризуються тривалим строком служби (до 10000 годин), високою світловою віддачею (50–80 лм/Вт), низькою яскравістю поверхні, яка світиться, і кращим спектральним складом світла, більш схожим до денного [7].

Між тим, серед недоліків люмінесцентних ламп слід відзначити пульсацію світлового потоку, нестабільну роботу при низьких температурах і пониженому напрузі, а також більш складну схему вмикання. Пульсація світлового потоку може негативно впливати на зір, а також викликати стробоскопічний ефект, коли обладнання, що обертається, здається нерухомим або обертається у протилежному напрямі. Цей ефект можна зменшити, вмикаючи сусідні лампи в різні фази мережі, але його повністю усунути досить складно. Для зниження негативного впливу пульсуючого світлового потоку також використовується підвищення частоти струму живлення до 11 кГц, що пов'язано з інерційною характеристикою формування зорового образу [7].

Згідно з [7], існує кілька типів люмінесцентних ламп, які різняться за спектральним складом світла: ЛД (лампи денні), ЛБ (білі), ЛДЦ (денного світла правильної кольорової передачі), ЛТБ (тепло-білі), ЛХБ (холодно-білі).

Лампи високого тиску, такі як дугові ртутні (ДРЛ) та натрієві лампи (ДНаТ), мають високий строк служби понад 10000 годин і світловіддачу відповідно від 50 до 130 лм/Вт [7].

У галогенних лампах колби наповнюються парами галогену (йоду або бром). Вони поділяються на розжарювання, газорозрядні і металогалогенові. Галогенні лампи мають строк служби від 2000 годин до 5000 годин і світловіддачу від 20 до 75 лм/Вт [7].

Світильник, що складається з джерела світла (лампи) та освітлювальної арматури, виконує кілька функцій, забезпечуючи кріплення лампи, подачу електроенергії, запобігання забрудненню та механічному пошкодженню, а також гарантуючи безпеку від вибухів, пожеж та електробезпеку. Захисний кут

світильника визначає його здатність захищати очі працюючого від надмірної яскравості джерела світла. При проектуванні освітлювальних систем важливо враховувати норми та правила освітлення, щоб визначити потребу в освітлювальних пристроях, матеріалах та конструкціях, а також в електричній енергії. Проект зазвичай включає світлотехнічну, електричну, конструктивну та кошторисно-фінансову частини [7].

### **Висновки по Розділу 1:**

1. Для правильного визначення режимів роботи джерел світла і освітлювальних приладів необхідно враховувати наступні світлові величини: світловий потік, сила світла, освітленість і яскравість. Разом з ними характеристика буде більш повною якщо знати світлотехнічні властивості матеріалів.

2. Природне освітлення не є стабільним за рівнем освітленості. Воно змінюється в залежності від пори року, погоди, години дня що має враховуватися при визначенні змішаного рівня освітленості робочих місць.

3. Штучне освітлення створюється електричними джерелами світла, такими як лампи розжарювання, люмінесцентними лампами, діодними джерелами світла, прожекторами. Змішане освітлення виникає, коли природне освітлення не відповідає нормам і доповнюється штучним світлом, щоб забезпечити необхідний рівень освітленості.

## **РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ МЕРЕЖ ТА РІВНЯ ОСВІТЛЕНОСТІ ВІД ШТУЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ**

### **2.1 Розрахунок електричного освітлення**

Згідно з [8]: розподіл проєкту освітлювальної установки на світлотехнічну та електричну частини може здаватися умовним, адже ці аспекти взаємопов'язані, і багато питань електротехнічної та світлотехнічної частин вирішуються взаємодією. Неможливо розпочинати світлотехнічні розрахунки, не здійснивши попередній вибір напруги мережі та джерела живлення, а також без урахування умов прокладання електричної мережі. При вирішенні питань надійності роботи освітлювальної установки обов'язково потрібно враховувати світлотехнічні вимоги, такі як рівні освітленості, якість освітлення та розташування світильників, а також враховувати вимоги до джерел та схем живлення. Важливими є також знання технології виробництва підприємства, призначення приміщень, їхньої специфіки та архітектури, зокрема для громадських приміщень. Одночасно слід враховувати вимоги до безперебійності роботи освітлювальної установки, легкості обслуговування світильників та економічності.

Спираючись на матеріал викладений в [8], про методи розрахунку освітлення можна розповісти наступне:

Великий вибір джерел світла ставить перед проєктувальником завдання правильного їх вибору. Основні характеристики, що визначають їх придатність для конкретних умов, включають напругу, потужність, розміри та форму колби, світловіддачу, строк служби, яскравість, спектральний склад і кольоровість випромінювання, економічність. Вибір рівня нормованої освітленості на робочій поверхні залежить від розміру об'єкта розпізнавання, контрасту об'єкту з фоном,

коефіцієнта відбиття фону та інших факторів. У практиці проектування для полегшення цього вибору використовують галузеві норми, що базуються на загальних нормах та враховують рівні освітленості для різних типів приміщень та робочих місць, а також надають вказівки щодо розташування робочих поверхонь, вибору видів освітлення та систем освітлення.

При розрахунках освітлення необхідно враховувати, що в процесі експлуатації освітлювальної установки освітленість на робочих місцях може зменшуватися через старіння ламп, зниження коефіцієнта корисної дії світильників внаслідок забруднення ламп та відбивачів, а також забруднення стін та стелі приміщення. Для часткового уникнення негативних наслідків, пов'язаних із цими явищами, в розрахунки вводиться коефіцієнт запасу. Цей коефіцієнт регламентується будівельними нормами залежно від рівня забруднення приміщення і виду джерела світла.

Визначення освітлювальних приладів впливає на якість, надійність та ефективність дії проєктованої освітлювальної установки. При цьому основні критерії вибору світильника включають конструктивне виконання та умови його експлуатації, світлорозподілення, блискучість та економічність.

Елементи, які випромінюють світло, можна класифікувати в залежності від їх розміру та відстані до освітлюваної поверхні на три групи: точкові, лінійні та поверхні кінцевих розмірів.

До першої категорії відносяться освітлювальні пристрої, що використовують лампи розжарення та газорозрядні лампи, розташовані на відстані в 5 разів і більше від розмірів пристроїв, що дозволяє описати розподіл світла за допомогою кривих інтенсивності світла. Положення світильника відносно розрахункової точки визначається координатами  $h_p$ ,  $\alpha$ ,  $\varphi$  (Рис. 2.1,а), де  $h_p$  – висота підвісу світильника над освітлюваною поверхнею, а  $\alpha$  і  $\varphi$  – кути, які визначають напрямок світлового потоку до розрахункової точки.

Розташування симетричного освітлювального пристрою, чий світлорозподіл характеризується однією і тією ж кривою сили світла (КСС) у будь-якій вертикальній площині, повністю визначається двома координатами: висотою підвісу  $h_p$  та кутом  $\alpha$ .

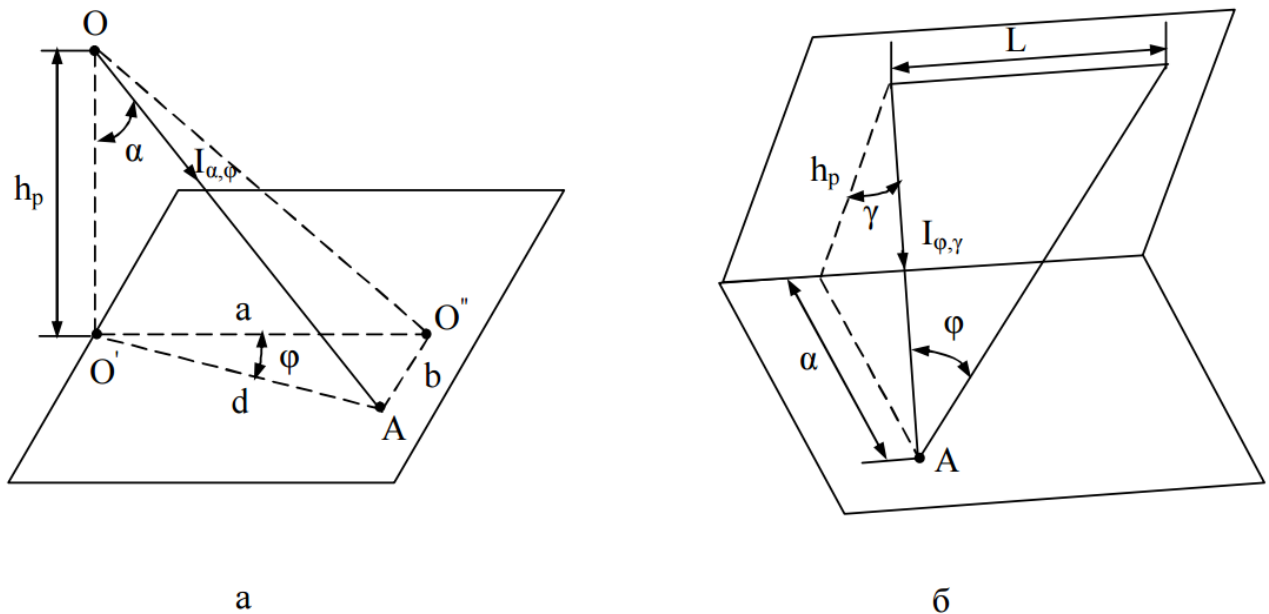


Рисунок 2.1 – Визначення місцерозташування: а – точкового елемента; б – лінійного елемента, що світиться, по відношенню до точки А

При розташуванні освітлювального пристрою на відносно невеликій відстані до освітлюваної поверхні, порівняної з його розміром, останній не може розглядатися як точковий джерело світла. Його світлорозподіл характеризується кривими рівної освітленості розрахункової поверхні.

До другої групи елементів, що світяться, належать люмінесцентні світильники, розташовані у вигляді безперервних ліній або ліній з розривами. Їхній світлорозподіл характеризується кривими сили світла у поздовжній та поперечній площинах, віднесеними до одиниці довжини лінії, яка світиться. Положення лінії світіння визначається висотою підвісу  $h_p$  та двома кутами: кутом  $\gamma$  в поперечній площині, що проходить через розрахункову точку, та кутом  $\varphi$ , під яким видна лінія світіння з розрахункової точки.

Освітлювальні поверхні можуть представляти собою встановлені пристрої, які відбивають світло, або освітлювальні стелі та панелі, що випромінюють світло через матеріали, такі як глухе скло, пластмаса чи решітчасті дифузори. Поверхня, яка світиться, має при цьому розміри, порівняні з відстанню до освітлюваної поверхні. Характеристика їхнього світлорозподілу визначається розподілом яскравості в просторі і по поверхні, що світиться.

Найбільш поширеними в практиці проектування є елементи, що відносяться до першої та другої груп. У виробничих приміщеннях та на виробках гірничої промисловості найчастіше використовуються точкові джерела світла.

Після визначення основних параметрів освітлювальної установки, таких як освітленість, система освітлення, тип світильників і їх розташування, проводиться світлотехнічний розрахунок.

В розрахунках освітлення для різних виробничих або громадських приміщень розглядається різноманіття варіантів, яке обумовлене широким спектром типів світильників, можливістю встановлення ламп різної потужності, а також регулювання висоти підвісу світильників і відстані між ними.

Згідно з результатами розрахунку освітленості, допускається відхилення її значення від нормованого в межах від -10% до +20%. Існуючі методи розрахунку освітлювальних установок можна класифікувати у дві групи:

- Розрахунок за світловим потоком, включаючи метод коефіцієнту використання та метод питомої потужності.
- Розрахунок за точковим методом, методом комп'ютерного моделювання

## **2.2 Розрахунок освітлення за методом коефіцієнта використання**

Одним з методів розрахунку освітленості є метод коефіцієнту використання. Головна мета розрахунку освітлювальних установок полягає у

визначенні оптимальної кількості та потужності джерел світла для забезпечення нормованої освітленості з урахуванням коефіцієнта запасу. Також важливим є визначення необхідних параметрів розміщення світильників та потужності джерел світла для досягнення потрібного рівня освітленості на робочих або умовно робочих поверхнях[9].

Опираючись на матеріал, що викладений в [8] та [9], було сформовано наступні теоретичні викладення про метод коефіцієнта використання:

При проведенні розрахунків важливо визначити робочу поверхню, яка використовується під час роботи. Умовною робочою поверхнею у розрахунках слід розглядати горизонтальну площину, розташовану на деякій висоті від підлоги від підлоги. Освітленість на цій поверхні формується як прямим світловим потоком від світильників (пряма компонента освітленості  $E_{np}$ ), так і відбитим від стін, стелі та підлоги світлом (відбивальна компонента  $E_e$ ). Сумарну освітленість робочої поверхні ( $E_{сум}$ ) можна записати в наступному вигляді:

$$E_{сум} = E_{np} + E_e$$

Пряма складова освітленості обчислюється враховуючи криву сили світла світильника та його положення відносно обраної точки, внаслідок чого її значення буде різним на окремих ділянках робочої поверхні.

Відбита складова формується через світловий потік, що відбивається від відбивальних поверхонь, їх властивостей та розмірів приміщення. Багаторазові відбиття створюють рівномірний розподіл відбивальної складової. Розрахунок освітлювальних установок з урахуванням обох складових стає простішим, якщо розподіл світлового потоку вздовж розрахункової площини є близьким до рівномірного. Це можливо, якщо фактичне розміщення світильників оптимальне або близьке до оптимального, що вказує на середню освітленість розрахункової площини, в таких випадках пряма і відбита складова освітленості розподілена практично рівномірно. У таких випадках застосовується концепція коефіцієнта використання освітлювальної установки, який визначається як відношення

світлового потоку, що падає на розрахункову площину, до світлового потоку джерел світла:

$$U_{oy} = \frac{\Phi_p}{n\Phi_d}$$

де  $n$  – кількість джерел;

$\Phi_p$  – світловий потік, який падає на поверхню що освітлюється, лм;

$\Phi_d$  – світловий потік джерела, лм.

Коефіцієнт використання освітлювальної системи, що вказує на результативність використання світлового потоку від джерел, формується з урахуванням розподілу світла, розміщення світильників і взаємодії розмірів приміщення з відбивальними властивостями його поверхонь.

Значущий вплив на коефіцієнт використання освітлювальної системи має розподіл світла світильників, особливо у темних приміщеннях зі стінами темного кольору. Застосування світильників із зосередженим світлорозподілом значно збільшує частку світлового потоку, яка безпосередньо направлена на розрахункову поверхню, що відзначається підвищенням коефіцієнта використання освітлення. Цей показник також залежить від місцеположення світильників у приміщенні. Вплив світлорозподілення та розташування світильників менше виявляється в приміщеннях зі світлішою обробкою.

Коефіцієнт використання ОУ залежить від коефіцієнтів відбиття для стелі ( $\rho_{cm}$ ), стін ( $\rho_c$ ), і розрахункової поверхні ( $\rho_p$ ), а також від співвідношення сторін квадрата приміщення ( $a$ ) до висоти підвісу світильника над робочою поверхнею ( $h_p$ ). Підвищення цього відношення ( $a/h_p$ ) призводить до збільшення коефіцієнта використання освітлювальної установки. Ці показники визначаються індексом приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h(a + b)},$$

де  $a, b$  – довжина та ширина приміщення, м;

$h$  – висота світильника відносно площини робочого місця, м.

$$h = H - h_p - h_c$$

де  $H$  – висота приміщення, м;

$h_p$  – висота від підлоги до робочого місця, м;

$h_c$  – висота від стелі до центру світильника, м.

Для підвісних світильників визначемо висоту підвісу в діапазоні 0,3 м до 0,5 м залежно від  $h$ . У разі плафонів і вбудованих світильників це значення складає 0,2 м. Хоча висота підвісу може перевищувати 0,5 м, у такому випадку необхідно встановлювати світильники на жорстких підвісках, які не допускають розкачування.

Для приміщень необмеженої довжини можна вважати, що  $i = b/h$ .

Враховуючи колірне пофарбування стін і стелі (індекси відбиття  $\rho_c, \rho_{cm}$ ), а також індекс приміщення і з літературних джерел про проектування освітлення, обирається значення коефіцієнта використання ОУ. Таким чином, визначається необхідний світловий потік для освітлення робочої поверхні.

$$\Phi_p = \frac{E_n \cdot K_z \cdot S \cdot Z}{U_{OY}}$$

де  $E_n$  – мінімальна освітленість, що вибрана згідно з нормами, лк;

$K_z$  – коефіцієнт запасу з врахуванням свілового потоку ОУ;

$S$  – площа освітлювальної поверхні, м<sup>2</sup>;

$Z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення, який представляє відношення середньої освітленості робочої поверхні до мінімальної освітленості, приймаючи значення у діапазоні від 1,1 до 1,3.

Обравши відповідний світильник із потрібним світловим потоком ( $\Phi_l$ ), обчислюється кількість світильників, необхідних для досягнення нормованої освітленості на робочій поверхні приміщення:

$$n = \frac{\Phi_p}{\Phi_l}$$

Вираз для потужності освітлювальної установки виглядає наступним чином:

$$P_{p.o.} = nP_l K_{пра},$$

де  $P_l$  – потужність лампи, Вт;

$K_{пра}$  – коефіцієнт, що враховує втрати в пуско-регулюючому апараті світильника;

$n$  – кількість світильників.

Отже, порядок розрахунку освітлення методом використання світлового потоку має наступний вигляд:

1. Визначаємо індекс приміщення.
2. Знаходимо коефіцієнт використання ОУ.
3. Розраховуємо світловий потік.
4. Вибираємо джерело світла.
5. Обраховуємо фактичну освітленість.

### 2.3 Розрахунок освітлення за методом питомої потужності

Опираючись на матеріал, що викладений в [8], було сформовано наступні теоретичні викладення про метод коефіцієнта використання:

Для визначення потужності освітлювальних установок часто використовується метод питомої потужності, який, на відміну від методу коефіцієнта використання, базується на відношенні сумарної потужності джерел світла до площі освітлюваної поверхні:

$$\omega = \frac{P_0}{S},$$

де  $\omega$  – питома потужність, Вт/м<sup>2</sup>;

$P_0$  – результуюча потужність ламп, Вт;

$S$  – площа поверхні що освітлюється, м<sup>2</sup>.

Цей підхід дає менш точне, але простіше вирішення завдання розрахунку встановленої потужності освітлювальної установки. В основі цього методу лежать концепції, що ґрунтуються на тих розрахунках. Основне рівняння методу коефіцієнта використання світлового потоку можна виразити, замінивши світловий потік лампи на її потужність ( $P_l$ ) та світлову віддачу ( $H$ ):

$$P_l \cdot H = \frac{E_n \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{n \cdot U_{OY}}$$

Виражаємо з цього виразу питому потужність:

$$\omega = \frac{P_l \cdot n}{S} = \frac{E_n \cdot K_3 \cdot Z}{H \cdot U_{OY}}$$

З цього випливає, що питома потужність освітлювальної установки залежить від розрахункового значення освітленості ( $E_n$ ,  $K_3$ ), типу джерела світла ( $H$ ), розміщення світильників ( $Z$ ), та коефіцієнта використання освітлювальної установки ( $U_{OY}$ ). Це також залежить від світлорозподілу, ККД світильників, розмірів, та відбиваючих властивостей поверхонь приміщення. Розгляд впливу цих факторів на величину питомої потужності дозволив скласти таблиці питомої потужності освітлювальних установок, використовуючи різні світильники. Питома потужність обирається в залежності від висоти приміщення, його площі, та рівня освітленості. У відсутності конкретних даних для питомої освітленості, її можна орієнтовно прийняти:

$$\omega = \left(\frac{1}{3} \dots \frac{1}{5}\right) E_{\min} - \text{для ОУ з лампами розжарення};$$

$$\omega = \left(\frac{1}{10} \dots \frac{1}{15}\right) E_{\min} - \text{для ОУ з люмінесцентними лампами}.$$

Отже, обравши нормовану освітленість, тип світильника та коефіцієнти відбиття поверхонь, робочу висоту підвісу світильників над робочою поверхнею і, таким чином, питому потужність, потужність освітлювальної установки  $P_{p.o.} = \omega S$ , кількість світильників  $n$  розраховується за формулою:

$$n = P_{p.o.}/P_{л.}$$

## 2.4 Розрахунок освітлення за точковим методом

Опираючись на матеріал, що викладений в [8], було сформовано наступні теоретичні викладення про метод коефіцієнта використання:

Цей метод називається точковим через можливість визначення потужності освітлювальної установки на основі розрахунку освітленості в будь-якій точці робочої поверхні. В рамках цього методу припускається, що відбите світло грає невелику роль. Використання цього методу виправдане у випадках, коли метод коефіцієнта використання не є прийнятним (наприклад, у приміщеннях, заповнених обладнанням, або затемнених) або при перевірці освітленості окремих ділянок. Метод широко використовується при розрахунку освітлення конвеєрних ліній, галерей, охоронного освітлення, а також при освітленні сходів, спусків, доріг, залізничних колій, підземних протяжних виробок та інших об'єктів. Ефективність методу добре проявляється при використанні світильників, які випромінюють пряме або переважно пряме світло.

Для проведення розрахунку освітлення передусім обирають тип світильників та визначають варіант їх розміщення, включаючи висоту підвісу та відстань між ними. Узагальнено, точковий метод дозволяє визначити освітленість робочої поверхні, орієнтованої в просторі. У практиці проєктування освітлювальних систем, ситуації розрахунку освітленості на нахилених поверхнях зустрічаються рідко. Зазвичай виникає потреба у розрахунку освітлення або на горизонтальних поверхнях, перпендикулярних вісі симетрії світильника (горизонтальна освітленість), або на поверхнях, паралельних їй (вертикальна освітленість). Це дозволяє спростити схему розрахунку.

Принцип розрахунку освітленості на площині горизонтальної та вертикальної орієнтації від світильника з круглосиметричним світлорозподілом

ілюструється на Рис.2.2. Точка  $A$  на робочій поверхні служить визначальною для розрахунку освітленості.

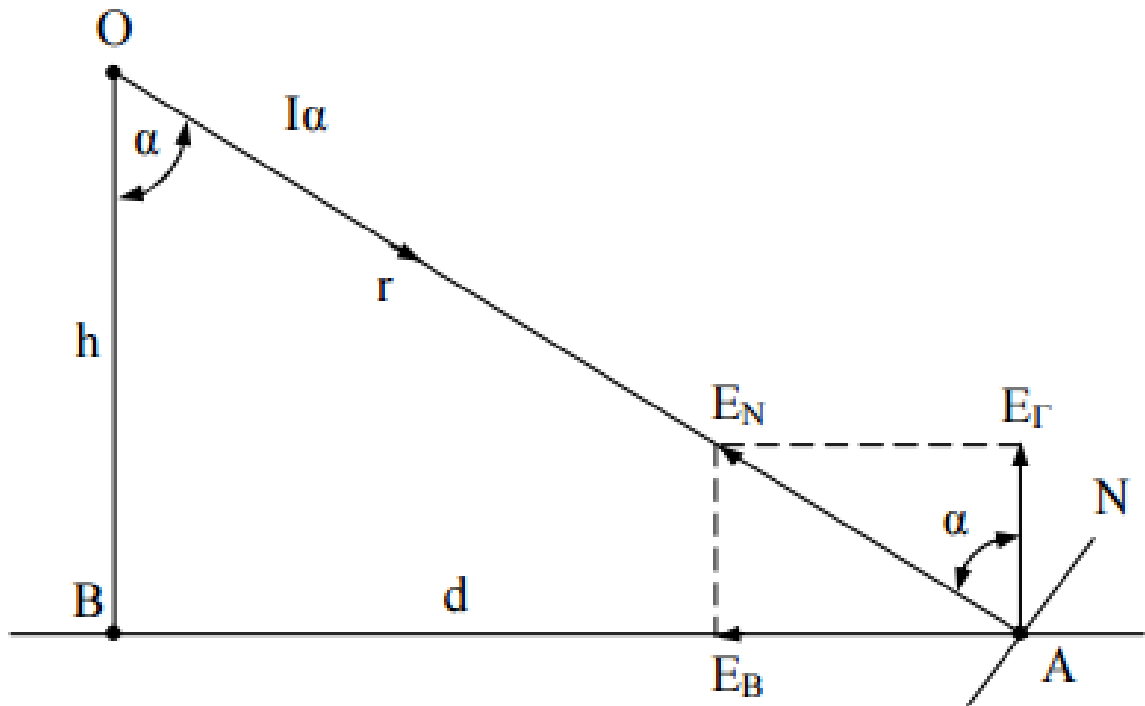


Рисунок 2.2 – Ілюстрація розрахунку освітленості

Освітленість в точці  $A$  на горизонтальній та вертикальній поверхні визначається формулою:

$$E_s = \frac{I_\alpha}{r^2} \cdot \cos \alpha,$$

$$E_n = \frac{I_\alpha}{r^2} \cdot \sin \alpha,$$

де  $I_\alpha$  – сила світла в напрямку падіння променя, кд;

$r$  – відстань від джерела світла до точки, м.

Для практичних розрахунків можна визначити положення джерела світла (точка  $O$ ) за допомогою координат  $h$ ,  $d$  та кута  $\alpha$ . З цього трикутника  $AOB$  можна отримати:

$$E_z = \frac{I_z}{h^2} \cdot \cos^3 \alpha,$$

$$E_g = \frac{I_g}{h^2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha = E_z \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

Враховуючи, що графіки розподілу світлового потоку світильників подаються для умовної лампи зі світловим потоком 1000 лм, для реальної лампи:

$$\Gamma_\alpha = c \cdot I_\alpha,$$

де  $c = \Phi_n/1000$ ,  $\Phi_n$  – світловий потік від джерела освітлення, лм;

$I_\alpha$  – сила світла, що залежить від інтенсивності світла в напрямку точки А відповідно до світлорозподілу світильника, лк.

Таким чином, кінцева формула для обчислення освітленості в точці А, що базується на характеристиках світлорозподілу світильника, має наступний вигляд:

$$E_z = \frac{c \cdot I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{h^2 \cdot k_3},$$

де  $K_3$  – коефіцієнт запасу, який враховує зниження світлового потоку протягом експлуатації освітлювальної установки.

Освітленість в розрахунковій точці визначається від кожного світильника, отже, загальна освітленість в точці є сумою освітленості ( $\sum E_z$ ) від усіх світильників.

Розрахунок вважається завершеним, якщо виконується умова, що:

$$E_{min} \geq \sum E_z.$$

На практиці, розрахункова освітленість може коливатися в межах від -10% до +20% порівняно з нормованим значенням. У випадку невідповідності цього умовами, слід коригувати розташування світильників. Для контролю обирають точки всередині приміщення, де  $\sum E_z$  є мінімальним.

Якщо використовується світильник із несиметричним світлорозподілом, положення розрахункової точки А відносно джерела світла визначається висотою

$h_p$ , кутом  $\alpha$  та кутом  $\varphi$ , який відраховується від площини симетрії світильника  $OO'O''$  (див. рис. 2.1, а). Значення цих кутів визначається з рис. 2.1.

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{d}{h_p};$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{b}{a}.$$

Знайдені величини кутів  $\alpha$  та  $\varphi$  дозволяють, використовуючи графіки рівних значень сили світла, визначити силу світла в напрямку розрахункової точки та розрахувати освітленість елемента поверхні в даній точці.

$$E_z = \frac{I_{\alpha, \varphi} \cdot \cos^3 \alpha}{h_p^2},$$

Щодо організації розташування світильників зі світними лініями (освітлювальні прилади із люмінесцентними лампами), широко використовується змінений точковий метод - метод кривих рівної відносної освітленості. Характеристикою світних ліній є їх лінійна густина світлового потоку ( $\Phi'$ ), виміряна в лм/м, що обчислюється як відношення сумарного потоку ламп ( $\Phi$ ) до їхньої довжини ( $L$ ). При цьому вважається, що лінії з розривами, рівномірно розташованими вздовж їхньої довжини ( $l_p$ ), розглядаються в розрахунках як безперервні, якщо вони не перевищують  $0,5 h$  (де  $h$  - висота від підлоги до стелі). Для довгих ліній з подібними розривами можна проводити розрахунки:

$$\Phi' = \frac{\Phi}{l_{c.l.} + l_p},$$

де  $\Phi$  - потік ламп у неперервній частині лінії ( $l_{c.l.}$ ), лм.

У випадку, коли  $l_p$  перевищує  $0,5 h$ , для кожного суцільного фрагмента лінії окремо визначається  $\Phi'$  і обчислюється освітленість, створена цим фрагментом.

Розрахунок освітлення проводиться за допомогою лінійних ізолюксів, які дають відносну горизонтальну освітленість  $\varepsilon$  при  $h = 1$  м та  $\Phi' = 1000$  лм/м, взяті з довідників для проєктування освітлення.

Відносна освітленість  $\varepsilon$ , визначена за графіками лінійних ізолюксів, залежить від координат точок, що знаходяться навпроти кінця ряду світильників, в залежності від відносної довжини світної лінії ( $L'$ ) та відносної відстані від проєкції осі лінії до контрольної точки А ( $P'$ ) (рис. 2.3).

$$L' = \frac{n(l_c + l_p)}{h};$$

$$P' = \frac{P}{h}$$

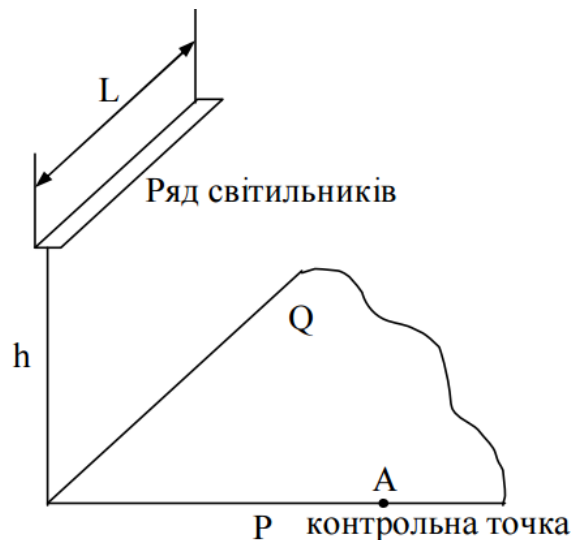


Рисунок 2.3 – Розрахунок люмінесцентного освітлення точковим методом

Освітленість в точках, які не знаходяться навпроти кінця ряду світильників, визначається за допомогою розділення лінії на дві частини або застосування умовного відрізка з подальшим додаванням або відніманням освітленості, як ілюстровано на рис. 2.4.

Обчислюючи значення  $\varepsilon$  для всіх рядів, які освітлюють контрольну точку, отримують суму  $\sum \varepsilon$ .

Наступним кроком йде розрахунок густини потоку  $\Phi'$ , що необхідна для досягнення заданої освітленості  $E$ , при цьому необхідно враховувати коефіцієнт запасу  $K_3$ .

$$\Phi' = \frac{1000 \cdot E_{\min} \cdot K_3}{\mu \cdot \sum \varepsilon},$$

де  $\mu$  – коефіцієнт, який враховує вплив віддалених світильників і відбите світло ( $\mu$  змінюється від 1,1 до 1,2 для емальованих світильників прямого світла,  $\mu = 1$  для дзеркальних світильників). Після цього, помноживши густину потоку  $\Phi'$  на довжину кожного ряду світильників  $l$ , знаходиться загальний світловий потік ламп ряду, на основі якого визначається оптимальна кількість та потужність ламп.

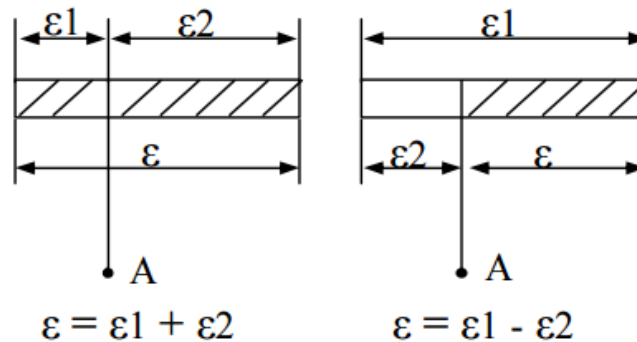


Рисунок 2.4 – Схема розрахунку точок, які розташовані не навпроти кінця ряду

## 2.5 Розрахунок прожекторного освітлення

Опираючись на матеріал, що викладений в [8] [9], було сформовано наступні теоретичні викладення про освітлення прожекторами:

Прожектор – це освітлювальний прилад, який направляє світло в малий тілесний кут, щоб досягти кутової концентрації світлового потоку. Внутрішній механізм прожектора дозволяє ефективно концентрувати світловий потік лампи

в обмеженому просторовому куті за допомогою дзеркальної або дзеркально-лінзової оптичної системи.

Основною перевагою використання прожекторів у освітленні є їх ефективність на великих територіях, економічність, доступність мереж та легкість обслуговування. Крім того, така система сприяє ефективному освітленню вертикальних поверхонь. Проте, важливими недоліками цього методу є осліплююча дія прожекторів, необхідність кваліфікованого обслуговування (фокусування, очищення відбивача) та можливість утворення тіней від великих об'єктів, що може впливати на якість освітлення вузьких смуг, таких як дороги або проходи між будівлями.

Рекомендується використовувати прожекторне освітлення для підсвічування великих відкритих просторів, таких як гірничі роботи, території відкритих складів, об'єкти будівельних робіт та залізничні станції. Також цей тип освітлення використовується, коли необхідно уникнути захаращення освітленої зони опорами світильників.

При аналізі прожекторного освітлення враховується мінімальний рівень освітленості згідно з нормами, вибирається коефіцієнт запасу, визначається тип прожектора, обчислюється оптимальна висота установки, розраховується необхідна кількість прожекторів, оптимальний кут нахилу оптичної вісі, а також визначається ідеальне розташування прожекторних мачт. Розрахунок прожекторного освітлення може проводитися відповідно до відомих співвідношень, що характерні для точкових світлових джерел. Специфіка полягає в тому, що потрібно визначити силу світла в напрямі до розрахункової точки, що ускладнюється тим, що оптична вісь прожектора розташована під кутом до горизонту (кут  $\theta$  на Рис. 2.5).

Спрямованість сили світла  $I_{\beta_z \beta_e}$  до точки  $A$  буде визначатися кутами  $\beta_z$  та  $\beta_e$  у двох взаємо перпендикулярних площинах. Значення цих кутів можна визначити за рис. 2.5.

$$\beta_2 = \arctg \frac{e \cdot \cos \alpha_1}{h_p} = \arctg \frac{e \cdot \sin \alpha_1}{a},$$

$$\beta_6 = \pm(\arctg \frac{a}{h_p} - \arctg \frac{a_0}{h_p}).$$

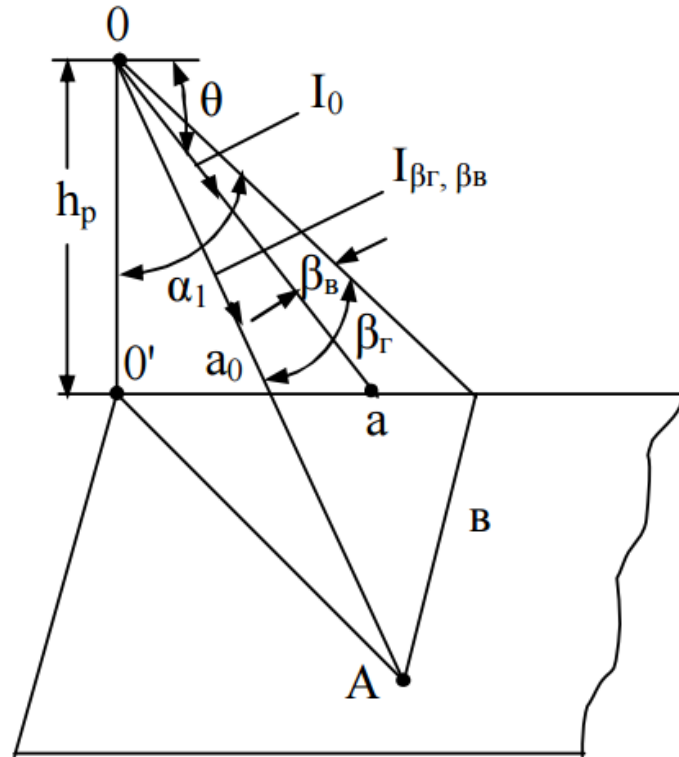


Рисунок 2.5 – Розрахунок освітленості прожектора

Використовуючи криві рівних значень(КРЗ) сили світла за знайденими кутами  $\beta_2$  та  $\beta_6$ , визначають силу світла в напрямі розрахункової точки і, відповідно, значення освітленості:

$$E_z = \frac{I_{\beta_2 \beta_6} \cdot \cos^3 \alpha}{h_p^2},$$

де  $I_{\beta_2 \beta_6}$  – сила світла у напрямку освітлювальної точки, лк;

$\alpha$  – кут між напрямом світлового потоку на освітлювальну точку та нормаллю до освітлювальної поверхні.

При розрахунку освітленості в численних точках освітлюваної поверхні

або при визначенні освітленості від значної кількості прожекторів часто використовують допоміжні графіки та таблиці. Широкого застосування на практиці набув метод кривих рівних значень відносної освітленості (запропонований Г. М. Кноррингом), що означає освітленість площини, перпендикулярної до оптичної вісі прожектора та віддаленої від його світлового центра на 1 м.

При розрахунку стаціонарних освітлювальних систем з визначеною площею освітлення часто використовують точні та складні методи. Також, наприклад, на відкритих гірничих роботах, де умови роботи освітлювальної установки та зони освітлення можуть бути різноманітними, та місце роботи машин може змінюватися, використання приблизних методів розрахунку є виправданим.

Оптимальну кількість прожекторів та їх потужність можна приблизно визначити шляхом застосування методу світлового потоку, методу питомої потужності або методу компоновки кривих однакової освітленості. Для забезпечення потрібної освітленості  $E_n$  на площі  $S$  необхідний світловий потік може бути розрахований наступним чином:

$$\Phi_p = \frac{E_n \cdot K_z \cdot S}{U \cdot Z},$$

де  $K_z$  – коефіцієнт запасу (для прожекторних установок  $K_z = 1,5$ );

$U$  – коефіцієнт використання світлового потоку прожекторів, що враховує втрати світла в залежності від конфігурації освітлюваної поверхні ( $U$  змінюється від 0,9 до 0,65);

$Z = E_{min} / E_{cp}$  – коефіцієнт, що враховує нерівномірність освітлення ( $Z = 0,75$ );

$E_{cp}$  – середнє значення освітленості, лк;

$E_{min}$  – мінімальне значення освітленості, лк.

Оптимальна кількість прожекторів може бути визначена наступними шляхами:

$$n = \frac{\Phi_p}{\Phi_z \cdot \eta_{np}},$$

де  $\Phi_l$  – світловий потік від лампи прожектора, лк;

$\eta_{np}$  – коефіцієнт корисної дії (ККД) прожектора ( $\eta_{np}$  = від 0,35 до 0,37).

За методом питомої потужності оптимальна кількість прожекторів визначається:

$$n = \frac{P_n \cdot S}{P_l},$$

де  $P_n$  – питома потужність, Вт/м<sup>2</sup>;

$S$  – освітлювана площа, м<sup>2</sup>;  $P_l$  – потужність лампи прожектора, Вт.

Значення питомої потужності розраховується за виразом:

$$P_n = K_z \cdot c \cdot E_n,$$

де  $E_n$  – нормована освітленість, лк;

$c$  – коефіцієнт технічних характеристик джерела світла та прожекторів.

$$c = \frac{1}{t \cdot \eta_{np} \cdot U \cdot Z},$$

де  $t$  – світловіддача джерела світла, лм/Вт;

$\eta_{np}$  – коефіцієнт корисної дії прожектора;

$U$  – коефіцієнт використання світлового потоку;

$Z$  – відносна освітленість.

Прожектори групуються на стаціонарних або пересувних мачтах, а також на покрівлях приміщень; менше часто вони встановлюються по одному.

Враховуючи обмеження щодо осліплюючої дії прожекторів, висота їх розташування встановлюється відповідно до такої умови:

$$h \geq \sqrt{\frac{I_{\max}}{300}},$$

де  $I_{\max}$  – осьова сила світла прожектора, лм.

Після розрахунку кількості прожекторів для конкретної площі, визначають кількість та розташування прожекторних мачт, а також кількість прожекторів на кожній із них. Розмір відстані між мачтами вибирається, враховуючи їхню висоту, функціональне призначення та особливості освітлюваної території. Зазвичай ця відстань становить 6–8 разів висота мачт, не перевищуючи 15 разів висота. Розташування мачт визначається в топографічній сітці з координатами  $(x, y)$ . Напрямок осей прожекторів визначається їхнім нахилом до горизонту ( $\theta$ ) та азимуту ( $\beta$ ), який відраховується від фіксованого напрямку на місцевості.

Залежно від кута нахилу оптичної осі прожектора відносно горизонту, форма та розмір освітлюваної площі, яке створюється на підсвічуваній території, змінюються. Наприклад, при куті нахилу прожектора  $\theta > \beta_e$  світлова пляма має форму еліпса, при рівних кутах – параболи, а при  $\theta < \beta_e$  – гіперболи (див. Рис.2.6). З великими кутами нахилу (близько  $90^\circ$  напрямку світлового потоку відносно освітлювальної площини) вісі прожекторні плями мають невеликі розміри та високий рівень освітленості.

По мірі зменшення кута нахилу висвітлена пляма збільшується, однак середня освітленість в межах плями відповідно зменшується. Очевидно, що оптимальним кутом нахилу прожектора буде той, при якому площа світлової плями, обмежена кривою однакової освітленості (ізолюксою), і відповідає заданому рівню освітленості, буде максимальною.

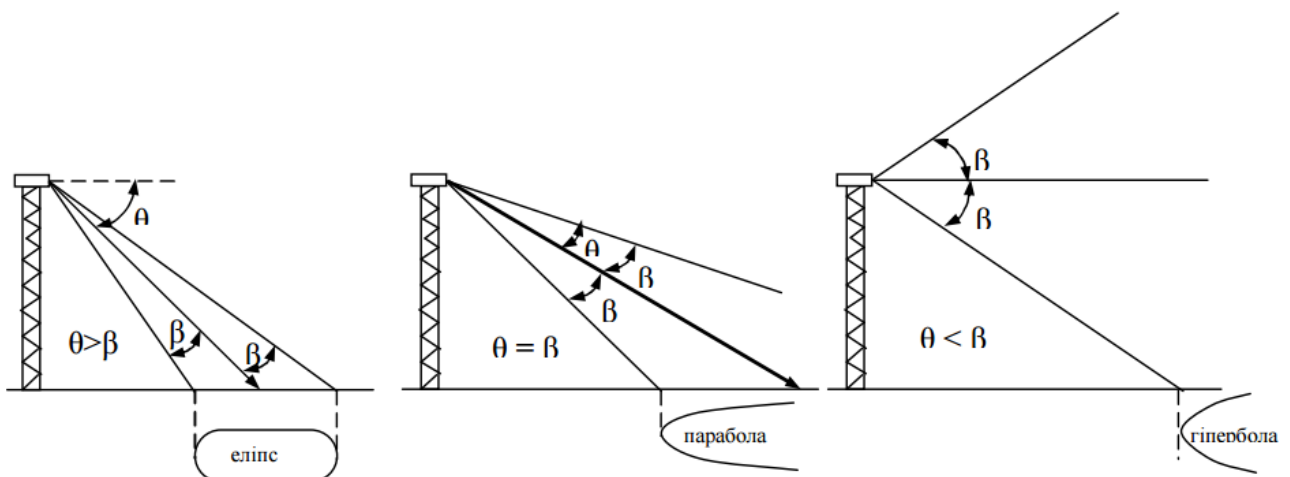


Рисунок 2.6 – Форма світлової плями при різних кутах нахилу осі прожектора

Оптимальний кут нахилу визначається наступним чином:

$$\theta = \arcsin \sqrt{m + n \cdot E_p^{2/3}}$$

де  $m$  та  $n$  – параметри кутів розсіювання прожекторів в горизонтальній та вертикальній площинах.

$$m = \sin^2 \beta_v;$$

$$n = \pi \frac{\sin 2\beta_g \cdot \cos \beta_g \cdot \operatorname{tg} \beta_g}{2 \cdot \Phi_{np}},$$

де  $\Phi_{np}$  – світловий потік прожекторів, лм;

$\beta_v, \beta_g$  – кути розсіювання прожектора в вертикальній та горизонтальній площинах.

Значення розрахункової освітленості  $E_p$  залежить від нормованої освітленості  $E_n$ , коефіцієнту запасу  $K_3$  та розташування світлових плям прожекторів на освітлюваній території. У випадку, коли всю територію освітлює один прожектор, розрахункова освітленість  $E_p$  дорівнює  $E_n$ , помноженому на  $K_3$ . Однак, якщо для освітлення території використовується кілька прожекторів, їх розташовують так, щоб світлові плями заповнювали всю освітлювану поверхню. У точках дотику (перекриття) світлових плям розрахункова освітленість формується світловими потоками двох прожекторів і обчислюється з урахуванням взаємодії.

$$E_p = \frac{E_n \cdot K_3}{2}$$

При визначенні вертикальної освітленості, найбільш підходящий кут нахилу може бути визначений шляхом розв'язання рівняння:

$$\theta'_0 = \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{I_{\max}}{E_g \cdot h^2}}.$$

Освітленість у точках, розташованих на осях еліпса світлового плями прожектора, може бути визначена за допомогою відповідної залежності:

$$E_2 = \frac{I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{H^2 \cdot K_3},$$

де  $I_\alpha$  – сила світла променя прожектора, направлено під кутом  $\alpha$ , лк;

$\alpha$  – кут між оптичною віссю пучка променів прожектора і вертикаллю до освітлюваної площини.

Після визначення оптимальної висоти та кута нахилу прожекторів починається процес розміщення прожекторів. Вибір місця для розташування прожекторних мачт розпочинається з визначення положення однієї з них, що базується на наявності можливого місця для встановлення мачти та врахуванні розташування промислових об'єктів. Також враховуються бажані напрямки прожекторних променів на освітлювану територію з метою уникнення тіней та мінімізації осліплюючого ефекту прожекторів.

Після визначення оптимальної висоти та кута нахилу для прожекторів, обирається напрям оптичної осі одного з прожекторів на мачті, зорієнтований так, щоб максимізувати площу освітлення з заданим рівнем освітленості. Для інших прожекторів можна використовувати криві рівних значень освітленості для конкретного типу прожекторів та обраних параметрів встановлення. Зазвичай користуються шаблонами, область яких обмежена кривою розрахункової освітленості та відтворена в масштабі освітлюваної території. Шаплони накладають на план освітленої поверхні, забезпечуючи точне розташування їх відносно мачт. Напрями оптичних осей та кути нахилу прожекторів фіксують на плані території, забезпечуючи оптимальну компоновку прожекторів. Аналогічно вирішується питання розміщення прожекторів на інших мачтах.

## 2.6 Розрахунок електричної освітлювальної мережі

Опираючись на матеріал, що викладений в [8] [9], було сформовано наступні теоретичні викладення про метод коефіцієнта використання:

Проведення розрахунку електричних освітлювальних мереж передбачає визначення оптимальних січень проводів та кабелів, забезпечення невеликого робочого струму для уникнення перегріву, збереження необхідних напруг в лампах та забезпечення достатньої міцності проводів.

Розрахунок мережі базується на аналізі навантаження та струмів на різних ділянках, врахуванні струму апаратів захисту (автоматів і запобіжників), розробці пропозицій щодо підвищення коефіцієнта потужності для газорозрядних ламп високого тиску та стабілізації напруги в освітлювальних мережах.

У якості матеріалів для провідників часто використовують алюміній та мідь. Хоча мідь має свої переваги, такі як менший питомий опір, велика механічна міцність і краща стійкість до взаємодії з навколишнім середовищем, економічність веде до широкого застосування алюмінієвих проводів.

Розрахунок поперечного перерізу проводів визначається на підставі кількох факторів, зокрема:

- забезпечення мінімально припустимої напруги на джерелах світла, що враховує втрати напруги.
- мінімізація витрат провідникового матеріалу, враховуючи мінімальний обсяг матеріалу.
- узгодження зі струмом навантаження для дотримання допустимої температури нагрівання проводів.
- врахування механічної міцності проводів і кабелів під час вибору поперечного перерізу проводів.

Отримані значення перерізів за зазначеними факторами аналізуються, і обирається найбільший переріз. Попередньо необхідно розрахувати встановлену потужність та розрахункове навантаження для окремих групових ліній, щитків і ліній мережі живлення перед розрахунком перерізу проводів за струмом навантаження і втратою напруги.

Встановлену освітлювальну потужність  $P_y$  розраховують як суму потужностей всіх ламп, які отримують електропостачання від відповідної ділянки мережі. Для світильників із газорозрядними лампами враховують також втрати в потужності розподільників пристосування. Для люмінесцентних ламп із стартерними схемами включення втрати становлять 20%, для безстартерних ПРА - 30%, а для ламп типу ДРП - 10% від їхньої потужності.

При розрахунку групових ліній враховують одночасне навантаження всіх світильників, що означає розрахункове навантаження  $P_p$ , рівне встановленій потужності. Для визначення розрахункового навантаження сітки вводять коефіцієнт споживання  $k_c$ , який дорівнює відношенню розрахункового навантаження до встановленої потужності.

$$P_p = P_y k_c$$

У випадку відсутності даних, отриманих із спеціальних досліджень, коефіцієнт споживання  $k_c$  визначають наступним чином:

- 1,0 – для невеликих виробничих та суспільних приміщень, торгових приміщень і ліній зовнішнього освітлення, а також для ліній, які живлять окремі групові щитки, незалежно від їх навантаження та призначення освітленого приміщення;
- 0,95 – для виробничих приміщень, що складаються з численних окремих приміщень;
- 0,8 – для адміністративно-побутових, інженерно-лабораторних та інших корпусів;
- 0,6 – для складських приміщень, які складаються з численних окремих приміщень.

Розрахункові навантаження для ліній живлення житлових будинків обчислюються, враховуючи питоме навантаження на одну квартиру та кількість квартир, які живляться від однієї лінії.

Електрична напруга, яка постачається до лампи, виявляє значний вплив на її світловий потік: зменшення напруги спричинює зниження світлового потоку. Тому "Правила ПУЕ" встановлюють припустимий рівень напруги на лампах. У електричних мережах для робочого освітлення виробничих і суспільних приміщень, а також у мережах, що живлять зовнішні освітлювальні установки, напруга на найбільш віддалених лампах повинна забезпечувати не менше 97,5% від їх номінальної. У мережах зовнішнього освітлення, житлових будинків та аварійного освітлення допускається зниження напруги на найбільш віддалених лампах до 95%. Максимальна напруга на лампах не повинна перевищувати 105% їх номінальної напруги. У мережах пониженої напруги (12 і 42 В) з моменту виведення з обмотки трансформатора допускається збільшення втрат напруги до 10%.

Втрати напруги складаються з внутрішніх втрат у трансформаторі та втрат в електричній мережі. При змінному струмі опір провідників вищий, порівняно із сталістю струму, через поверхневий та ефект близькості. Вплив цих факторів на опір провідників у освітлювальних мережах невеликий, тому під час розрахунків можна приймати активний опір проводів таким, як у випадку постійного струму. Для мереж освітлення з високим коефіцієнтом потужності, які розташовані у приміщеннях або у кабельних мережах, вплив індуктивного опору лінії на втрати напруги є мінімальним. З цієї причини індуктивний опір не враховується в приміщеннях та зовнішніх кабельних мережах.

Втрата напруги в мережі обумовлена сумою моментів навантаження ( $M$ ), перерізом проводів ( $S$ ), і постійним для даної мережі коефіцієнтом ( $c$ ), що залежить від матеріалу проводу, напруги в мережі та кількості проводів. Важливо відзначити, що втрата напруги не має зв'язку з коефіцієнтом потужності.

Переріз провідника за нагрівом обирають згідно умові:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{рохрах}}$$

де  $I_{\text{доп}}$  – це допустимий струм, А;

$I_{\text{розрах}}$  – розрахований струм, А.

Для трьохфазної мережі, чотирьох або трьох провідної мережі розрахунковий струм буде визначатись:

$$I_{\text{розрах}} = \frac{P_{\text{р.о.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos \varphi},$$

де  $P_{\text{р.о.}}$  – розрахункова потужність освітлювальної установки, Вт;

$U_{\text{л}}$  – лінійна напруга мережі, В.

Для двох провідної мережі:

$$I_{\text{розрах}} = \frac{P_{\text{р.о.}}}{U_{\text{ф}} \cdot \cos \varphi},$$

де  $U_{\text{ф}}$  – фазна напруга мережі, В.

Щодо механічної міцності, мінімально припустимий поперечний переріз для міді становить 1 мм<sup>2</sup>, тоді як для алюмінію цей показник складає 2,5 мм<sup>2</sup>.

Розрахунок мережі відносно допустимої напруги на затискачах найвіддаленіших світильників спрощується до визначення втрат напруги в освітлювальній мережі.

Допустимі втрати напруги в освітлювальній мережі:

$$\Delta U_{\text{допм}} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{\text{тр}} = U_{\text{хх}} - U_{\text{мін}} - \Delta U_{\text{тр}},$$

де  $U_{\text{х.х.}} = 1,05 \cdot U_{\text{ном}}$  – напруга холостого ходу, В;

$U_{\text{мін}} = 0,975 \cdot U_{\text{ном}}$  – в установках внутрішнього робочого освітлення та прожекторного зовнішнього освітлення, В;

$U_{\text{мін}} = 0,95 \cdot U_{\text{ном}}$  – для установок внутрішнього аварійного освітлення та зовнішнього освітлення світильниками, В;

$U_{\text{мін}} = 0,95 \cdot U_{\text{ном}}$  – в виробках шахт, В;

$S_{\text{р.тр}}$  – розрахункова потужність трансформатора, КВА;

$S_{\text{н.тр}}$  – номінальна потужність трансформатора, КВА;

$\Delta U_{\text{тр}}$  – втрати напруги в трансформаторі, %.

$$\Delta U_{тр} = \beta \cdot e_{\kappa},$$

де  $e_{\kappa}$  – втрати напруги КЗ (табличне значення), %;

$\beta$  – коефіцієнт загрузки трансформатора.

$$\beta = \frac{S_p}{S_{н.тр}};$$

Переріз провідників або жил кабелю при трьох або чотирьох провідних схемах:

$$S_p = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{р.ос} \cdot l_{розрах.} \cdot \cos \varphi_p}{\gamma \cdot \Delta U_{доп.м.} \cdot U_{ном}} = \frac{l_{розрах.} \cdot P_{р.о.} \cdot 10^5}{\gamma \cdot \Delta U_{доп.м.} \cdot U_{ном}^2}$$

де  $\gamma$  – провідність провідникового матеріалу;

$\gamma =$  від 50 См до 53 См – для міді;

$\gamma =$  32 См – для алюмінію;

$l_{розрах.}$  – розрахункова довжина лінії, м.

Для двох провідної мережі:

$$S_p = \frac{200 \cdot I_{р.} \cdot l_{розрах.} \cdot \cos \varphi_p}{\gamma \cdot \Delta U_{доп.м.} \cdot U_{ном}}$$

Розрахункова довжина лінії, позначена як  $L_{розрах.}$ , визначається як :  $L_{розрах.} = L$ , при умові, що розрахункове навантаження зосереджене в кінці лінії (рис. 2.7).

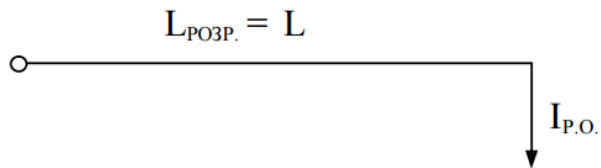


Рисунок 2.7 – Схема з зосередженим навантаженням

У випадку, коли навантаження освітлення розподілене рівномірно вздовж усієї лінії, розрахункова довжина лінії (позначена як  $L_{розрах.}$ ) приймає значення  $L_{розрах.} = 1/2 L$ . Це означає, що при розрахунках припускається, що навантаження зосереджене всередині лінії на половині її довжини (Рис 2.8).

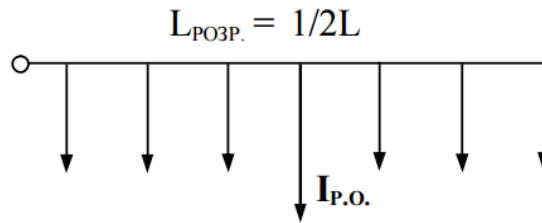


Рисунок 2.8 – Схема з навантаженням в середині лінії

Якщо має випадок який показано на Рис. 2.9, то приймають  $L_{розр} = L+L/2$ .

Втрати напруги в лінії:

$$\Delta U = I_{p.o.} \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi).$$

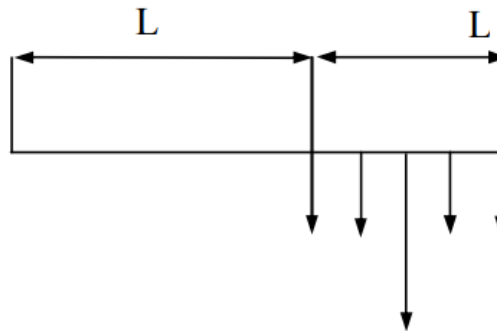


Рисунок 2.9 – Схема з зосередженим навантаженням

При розрахунку освітлювальних мереж для визначення зміни напруги ( $\Delta U$ ), можна скористатися наступною залежністю:

$$\Delta U = \frac{M}{S \cdot C},$$

де  $M$  – момент навантаження,  $M$  визначається як добуток  $P_p$  на  $L_{розр.}$ ;

$S$  – переріз провідника лінії освітлення,  $\text{мм}^2$ ;

$C$  – коефіцієнт, має однакове значення для трьохфазних мереж: для міді – 72, для алюмінію – 44 в мережах 380/220 В з нульовим провідником і 380 В без нульового провідника; для міді – 24, для алюмінію – 14,7 в мережах 220/127 В з нульовим провідником та 220 В без нульового провідника; для міді – 0,648, для алюмінію – 0,396 в мережах напругою 36 В.

Для двохпровідних мереж 380/220 В значення коефіцієнта  $C$  дорівнює: для міді – 32, для алюмінію – 19,5, а для однофазних мереж 220 В він дорівнює: для міді – 12, для алюмінію – 7,4 та для однофазних мереж 127 В: для міді – 4, для алюмінію – 2,46.

Відключальна здатність автоматичного вимикача, що включає освітлювальну мережу, перевіряється згідно:

$$I_{розр} \geq 1,2I_{к.з}$$

де  $I_{розр}$  – розривний струм автомата, А;

$I_{кз}$  – струм короткого замикання в місці встановлення автоматичного вимикача, А.

Установка спрацювання автоматичного вимикача для освітлювальної установки з лампами розжарення  $I_y \geq 3 \cdot I_{р.о.}$ , а для ОУ з газорозрядними лампами  $I_y \geq 1,25 \cdot I_{р.о.}$ .

Плавка вставка запобіжника вибирається за наступною умовою:

$$I_{н.в} \geq I_{р.о.}$$

Перевірка надійності спрацювання захисту проводиться відповідно до умов:

$$\frac{I_{к.з. \min}}{I_y} \geq K_{\chi}$$

де  $I_{к.з. \min}$  – мінімальний струм КЗ в кінці зони захисту;

$K_{\chi}$  – коефіцієнт чутливості захисту ( $K_{\chi} = 1,5$  – для автоматичних вимикачів,  $K_{\chi} = 4$  для запобіжників).

## Висновки по Розділу 2:

1. Існуючі методи розрахунку розрізняються по точності даних, і за цим показником їх можна розділити на дві групи:

- розрахунок за світловим потоком, метод коефіцієнту використання та метод питомої потужності;
  - розрахунок за точковим методом, методом комп'ютерного моделювання.
2. Друга група є більш точною тому, що в процесі розрахунку враховує більшу кількість додаткових параметрів, таких як коефіцієнт відбиття, захаращеність робочих місць та стан джерела освітлення, розташування робочої площини відносно світлового потоку від джерела освітлення.
  3. Метод питомої потужності є найпростішим і найменш точним, його використання може дати тільки орієнтовні результати рівня освітленості.
  4. Метод використання світлового потоку застосовується для розрахунку загального освітлення для горизонтальних робочих місць, а за наявності вертикальних робочих місць чи захаращеності приміщення цей метод не є актуальним.
  5. Метод коефіцієнту використання ОУ, буде точним при рівномірному розподілу світлового потоку на розрахункові площини, також, результативність використання світлового потоку залежить від розміщення світильників і взаємодії розмірів приміщення з відбивальними властивостями його поверхонь.
  6. Точковий метод розрахунку є більш точним через врахування багатьох факторів на точку розрахунку, що знаходиться на поверхні робочої площини. До таких факторів входить кількість світильників, значення світлового потоку джерела, кут між світловим потоком та площиною, відстань від площини до джерела світла.
  7. Комп'ютерний метод розрахунку кращий тим, що можливо врахувати коефіцієнт відбиття від поверхонь приміщення, взаємодію джерел світла, розташування робочих площин та їх захаращеність, при цьому є можливість перевірки різних конфігурацій систем освітлення без проведення великої кількості розрахунків, і при цьому отримати досить точні результати.

8. Розрахунок електричних освітлювальних мереж включає визначення перерізів проводів та кабелів так, щоб робочий струм не викликав перегрів проводів, а також гарантував необхідні рівні напруги у лампі та достатню механічну міцність проводів.

## РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ЯКОСТІ ОСВІТЛЕННЯ НЕЖИТЛОВОГО ПРИМІЩЕННЯ

### 3.1 Державні норми України про природне та штучне освітлення

Діючим, на сьогоднішній день стандартом якості природного та штучного освітлення є ДНБ В.2.5-28:2018 [10]. Даний закон вступив в силу від 2019-03-01.

Освітлення навчально-виробничих приміщень та училищ повинно проєктуватися відповідно до норм, які застосовуються для промислових, сільськогосподарських, будівельних, транспортних, комунікаційних, торговельних та побутових приміщень. У випадку, коли норми освітленості, визначені галузевими документами, становлять менше 300 лк для розрядних ламп або менше 150 лк для ламп розжарювання, їх слід підвищити на один рівень[11].

Приміщення, які використовуються постійно, повинні мати природне освітлення. Відсутність природного світла призначається для приміщень, що визначені будівельними нормами та розташовані в підвальних поверхах будівель. Природне освітлення поділяється на бокове, верхнє, комбіноване (верхнє і бокове), транспортоване та акумульоване. У житлових і громадських будівлях, при боковому освітленні з одного боку, мінімальне значення КПО повинно забезпечуватися в розрахунковій точці робочої поверхні, яка найбільш віддалена від вікон. Розрахункова точка розташована на перетині робочої поверхні та площини характерного розрізу на відстані 1 м від стіни, протилежної вікнам.

Робочою поверхнею є:

- для житлових приміщень - підлога;
- для навчальних приміщень - умовна робоча поверхня, що розташована на висоті 0,8 м над підлогою;
- для інших приміщень різного призначення - згідно з додатком Д.

Вимоги до освітлення досліджуваного об'єкту слід проводити відповідно до норм що знаходяться в додатку Д, ДНБ В.2.5-28:2018, а саме в частині з нормами освітлення закладів загальної середньої, професійної та вищої освіти (Таблиця 3.1) вказана інформація щодо встановлених норм освітленості для досліджуваного приміщення.

Таблиця 3.1 – Нормовані показники освітлення приміщень цивільних будівель

Приміщення	Площина (Г – горизонтальна, В – вертикальна) нормування освітленості та КПО, висота площини над рівнем підлоги, м	Розряд і підроз-ряд зорової роботи	Штучне освітлення					Природне освітлення		Суміщене освітлення	
			Освітленість робочих поверхонь, Лк		цилін-дрична освітленість, лк	показник дискон-форту, М не більше	коєфі-цієнт пуль-сації, Кз, %, не більше	КПО Дн, %		КПО Дн, %	
			при комбіно-ваному освітлен-ні	при загаль-ному освітлен-ні				середнє $D_{сер}^{н пр}$	мінімальне $D_{min}^{н пр}$	середнє $D_{сер}^{н пр}$	мінімальне $D_{min}^{н пр}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Заклади загальної середньої, професійної та вищої освіти</b>											
Класні кімнати, аудиторії, навчальні кабінети, лабораторії закладів середньої освіти, професійно-технічних закладів	В – 1,5 на середині дошки	А-1	–	500	–	–	10	4,0 <sup>2)</sup>	1,5 <sup>2)</sup>	2,1	1,3
	Г – 0,8 на робочих столах і партах	А-2	–	400	–	40	10	4,0 <sup>2)</sup>	1,5 <sup>2)</sup>	2,1	1,3
Аудиторії, навчальні кабінети, лабораторії у вищих навчальних закладах	В – 1,5 на середині дошки	А-2	–	400	–	–	10	3,5	1,2	2,1	0,7
	Г – 0,8 на робочих столах і партах	А-2	–	400	–	40	10	3,5	1,2	2,1	0,7
Кабінети інформатики і обчислювальної техніки	В – 1,0 на екрані дисплея	Б-2	–	200	–	–	–	–	–	–	–
	Г – 0,8 на робочих столах і партах	А-2	500/300	400	–	15	10	3,5	1,2	2,1	0,7
Кабінети технічного креслення та малювання	В – на дошці	А-1	–	500	–	40	10	4,0 <sup>2)</sup>	1,5 <sup>2)</sup>	2,1	1,3
	Г – 0,8 на робочих столах і партах	А-1	–	500	–	40	10	4,0 <sup>2)</sup>	1,5 <sup>2)</sup>	2,1	1,3
Лаборантські при навчальних кабінетах	Г – 0,8	А-2	500/300	400	–	15	10	3,5	1,2	2,1	0,7
Майстерні з обробки металів та деревини	Г – 0,8 на верстаках і робочих столах	ШБ	1000/200	300	–	40"	10	4,0 <sup>2)</sup>	–	3	1,2
Інструментальна, кімната майстра інструктора	Г – 0,8	Б-1	–	300	–	40	10	3	1	1,8	0,6

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Кабінети обслуговуючих видів праці для дівчаток	Г – 0,8	А-2	–	400	–	40	10	4,0 <sup>2)</sup>	1,5 <sup>2)</sup>	2,1	1,3
Спортивні, фізкультурно-спортивні зали	Г – підлога	Б-2		200		60	10	3,0 <sup>2)</sup>	1,0 <sup>2)</sup>	1,8 <sup>2)</sup>	0,6 <sup>2)</sup>
	В – на рівні 2,0 м від підлоги з обох сторін на поз-довжній осі приміщення	–	–	75	–	–	–	1,2	0,3	0,8	0,2
Снарядні, інвентарні, господарські комори	Г – 0,8	–	–	50	–	–	–	–	–	–	–
Криті басейни	Г – поверхня води	В-1		150		60	10	3,0 <sup>3)</sup>	1,0 <sup>3)</sup>	1,8 <sup>3)</sup>	0,6 <sup>3)</sup>
Актові зали, кіноаудиторії	Г – підлога	Д	–	200	75	90	–	–	–	–	–
Естради актових залів	В – 1,5	Г		300							
Кабінети й кімнати викладачів	Г – 0,8	Б-1	–	300	–	40	10	3	1	1,8	0,6
Рекреації	Г – підлога	Е	–	150	–	90	–	2,0 <sup>2)</sup>	0,4)	1,2 <sup>2)</sup>	0,3 <sup>2)</sup>

**Примітка 1.** Наявність нормованих значень освітленості в графах обох систем штучного освітлення вказує на можливість застосування однієї із цих систем.

**Примітка 2.** Знак "–" у відповідній комірці означає, що цей показник не нормується.

**Примітка 3.** При дробовому позначенні освітленості, наведеної в графі 4 таблиці, у чисельнику зазначена норма освітленості від загального й місцевого освітлення на робочому місці, а в знаменнику – освітленості від загального освітлення приміщення.

**Примітка 4.** При дробовому позначенні показника дискомфорту, наведеного в графі 7 таблиці, у чисельнику показана норма для загальної освітленості від загального у системі комбінованого освітлення, а в знаменнику – освітленість загального освітлення приміщення.

**Примітка 5.** При дробовому позначенні коефіцієнта пульсації, наведеного в графі 8 таблиці, у чисельнику показана норма для місцевого освітлення або одного загального освітлення, а в знаменнику – для загального освітлення

## 3.2 Визначення норми освітлення для робочих місць

Згідно таблиці 3.1, визначаємо параметри об'єкту дослідження

Для визначення норми освітлення для кожного робочого місця позначимо всі робочі місця своїм індивідуальним позначенням, які відповідають Рис. 3.1. Місця від С1 до С10 (Рис.3.1) використовується для проведення лабораторних робіт за встановленими стендами. Відображення даних, що були отримані в результаті роботи, можна побачити або на стрілочному або на цифровому екрані. На робочих місцях від С1 до С10 є горизонтальні та вертикальні робочі поверхні. Також, робочою поверхнею є дошка або екран для показу слайдів від проєктора, робоча поверхня є вертикальною і розташована на стіні.

Місця від П1.1 до П18 призначені для кількох видів роботи:

– для нотування на папері

– для роботи за комп'ютером

Столи від ЛС1 до ЛС4 та СТ1, від СТ В.1 до СТ В.2 використовуються для роботи за комп'ютером та паперової роботи.

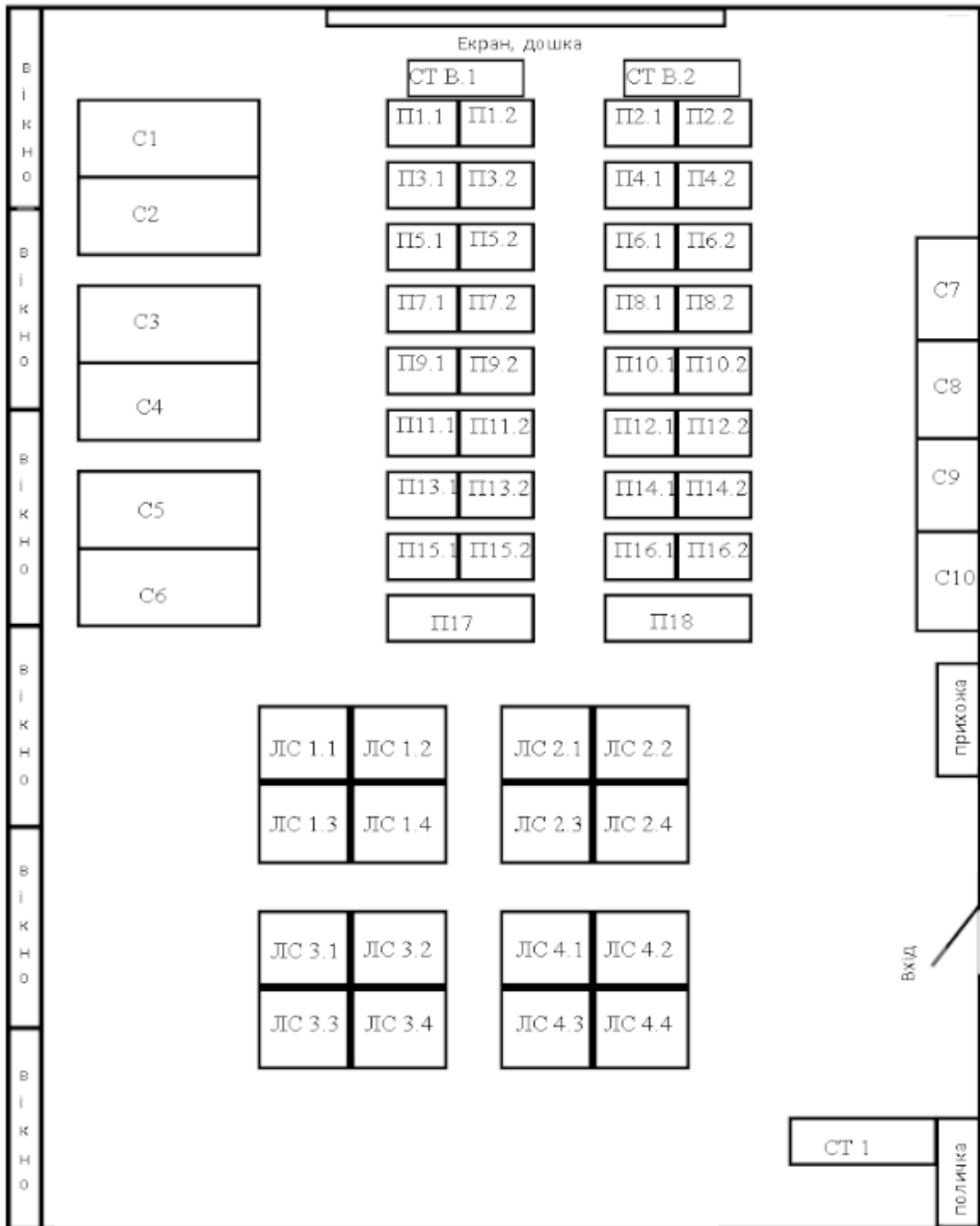


Рисунок 3.1 – Схематичне зображення розташування робочих місць

Згідно таблиці 3.1, використовуючи визначені розряди зорової роботи, були визначені норми освітлення робочих місць, що відзначені індивідуальними позначеннями, які відповідають Рисунку 3.1. Тип приміщення згідно таблиці 3.1 був визначений як «Аудиторії, навчальні кабінети, лабораторії у вищих навчальних закладах», додатково місця від П1.1 до П18 та від ЛС1 до ЛС4, СТ1, СТВ.1 та СТВ.2 можна визначити як для «Кабінету інформатики та обчислювальної техніки». Результати представлені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Норми освітлення для окремих робочих місць

Нумерація парт	Розряд зорової роботи	Норми освітлення для робочих місць, для загального освітлення
П1.1-П2.2	А-2	400 і більше
П3.1-П4.2	А-2	400 і більше
П5.1-П6.2	А-2	400 і більше
П7.1-П8.2	А-2	400 і більше
П9.1-П10.2	А-2	400 і більше
П11.1-П12.2	А-2	400 і більше
П13.1-П14.2	А-2	400 і більше
П15.1-П16.2	А-2	400 і більше
П17.1-П18.2	А-2	400 і більше
С1-С10	А-2	400 і більше
ЛС1-ЛС4	А-2, Б-2	400 і більше
СТ1	А-2, Б-2	400 і більше
СТ В.1- СТ В.2	А-2, Б-2	400 і більше
Дошка	А-2	400 і більше

### 3.3 Розрахунок електричного освітлення лабораторії

Для розрахунку освітлення лабораторії перевіримо які методи підійдуть для розрахунку освітлення.

Лабораторія освітлюється LED панелями, які належать до третьої групи елементів, що світяться.

Робочі місця, які оцінюються на норму освітлення, розташовані в горизонтальному та вертикальному положеннях, в приміщенні присутне обладнання, яке перешкоджає освітленню деяких місць, тому із представлених методів розрахунку в Розділі II, підходить метод точкового розрахунку та метод комп'ютерного моделювання. Також, щоб перевірити точність розрахунків, виміряємо природне та штучне освітлення Люксметром.

Люксметр - це прилад, призначений для вимірювання освітленості, яка вимірюється в люксах. Освітленість визначає кількість світла, яка потрапляє на певну площу поверхні. Люксметри використовуються в різних областях, таких як професійне освітлення, архітектура, охорона здоров'я, а також в галузі наукових досліджень та технічного обладнання для забезпечення необхідного рівня освітленості в різних середовищах.

Обираємо комп'ютерне моделювання, у програмному забезпеченні DIALux evo

Початкові дані для розрахунку:

- розміри LED панелі 600 мм x 600 мм;
- світловий потік ( $\Phi$ ) рівний  $\Phi=3200$  лм;
- відстань від панелі до столу  $h_p=2,11$  м.

Лабораторія має в наявності 24 LED панелі, що розташовані на стелі типу армстронг (рис. 2.3)

За допомогою наведених розмірів на кресленні в Додатку 1, був змодельований 3-Д вид нежитлового приміщення (Лабораторія 211) (рис. 3.2).

Наступним кроком буде заповнення приміщення столами та приладами відповідно їхніх місць в реальній лабораторії (рис. 3.3). Розміщення столів відбувається у вигляді геометричних об'єктів, що мають відповідну ширину, довжину та висоту.

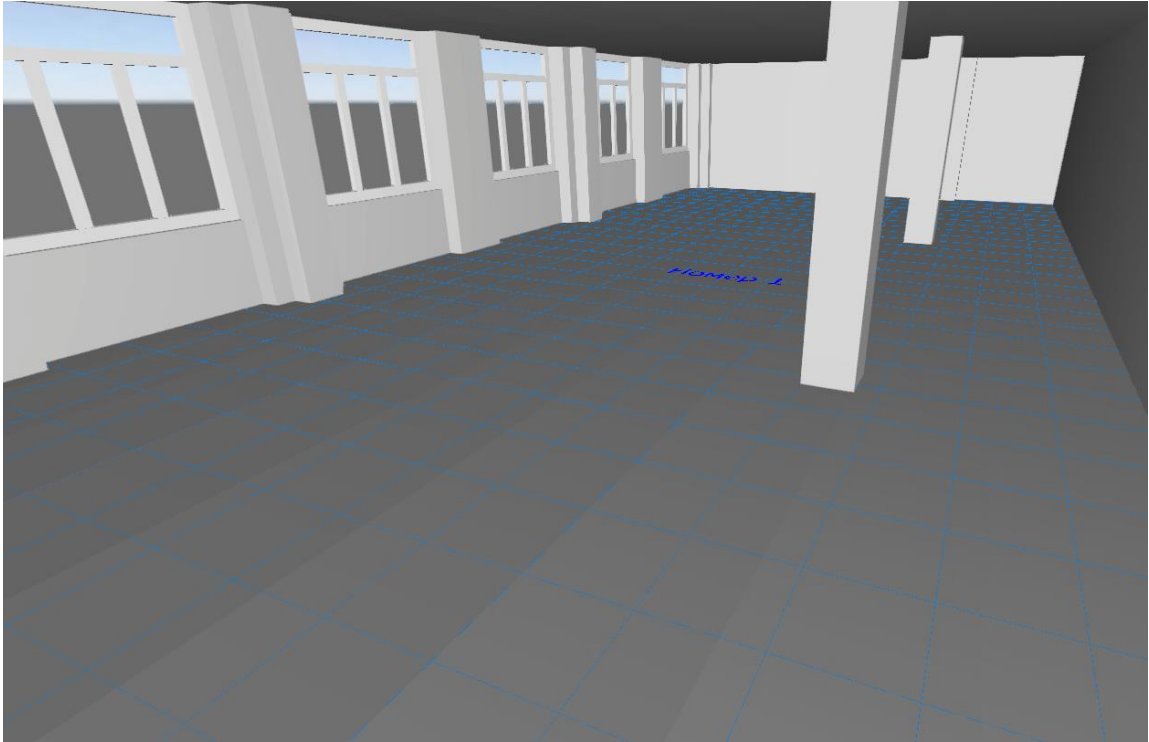


Рисунок 3.2 – 3-Д вид нежитлового приміщення

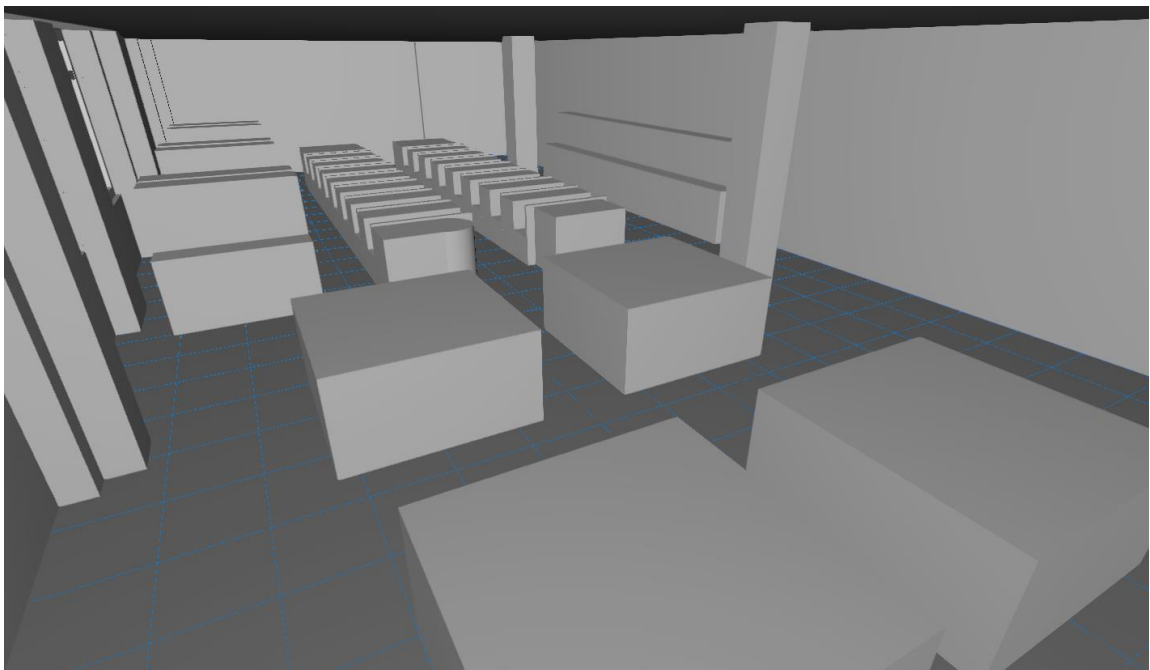


Рисунок 3.3 – 3-Д вид нежитлового приміщення з робочими столами

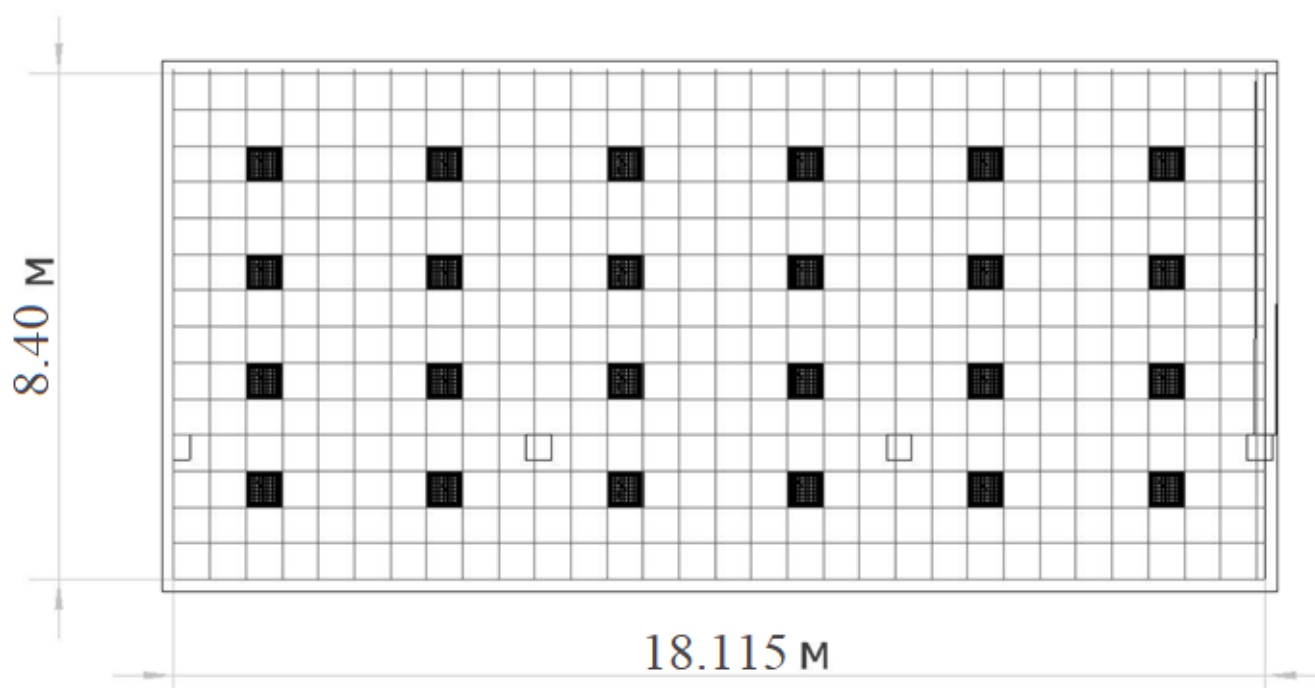


Рисунок 3.4 – Розташування LED панелей на стелі типу армстронг

Щоб розрахувати електричне освітлення лабораторії, в програмному забезпеченні необхідно вибрати відповідну LED панель що світиться, розташування панелей виконане на стелі типу армстронг, яке показано на рис. 3.4.

Стелі типу Армстронг – це вид стелі, яка поділена на рівні геометричні фігури, в нашому випадку квадрати зі стороною 600 мм. На даній стелі розмістили 24 LED панелі.

Після того як розмістили панелі, необхідно додати в 3Д модель лабораторії столи з обладнанням та парти на яких будуть розташовуватись розрахункові площини, розміщення столів відносно LED панелей показано на Рис 3.5.

Після розміщення геометричних фігур на місцях робочих місць, виділяємо розрахункові площини, для яких необхідно визначити освітлення (Рис. 3.6).

Слід зазначити, що виділені площини не тільки горизонтального розташування але й вертикального на робочих місцях, що заміняють стенди 1-10 (або С1-С10, рис 3.1) та дошку, на якій відображають інформацію тим хто сидить за місцями П1-18.

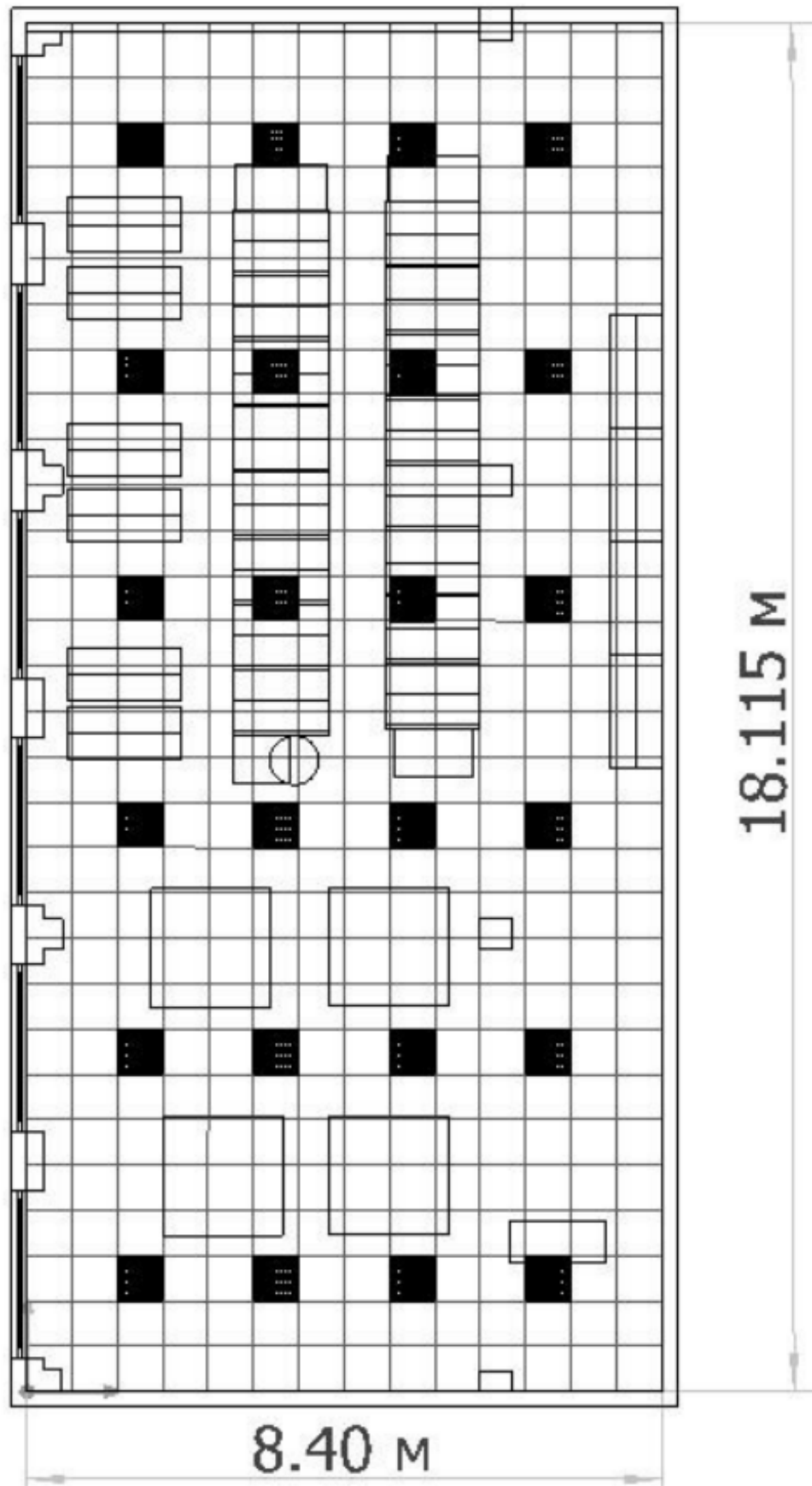


Рисунок 3.5 – Розташування робочих місць відносно світильників

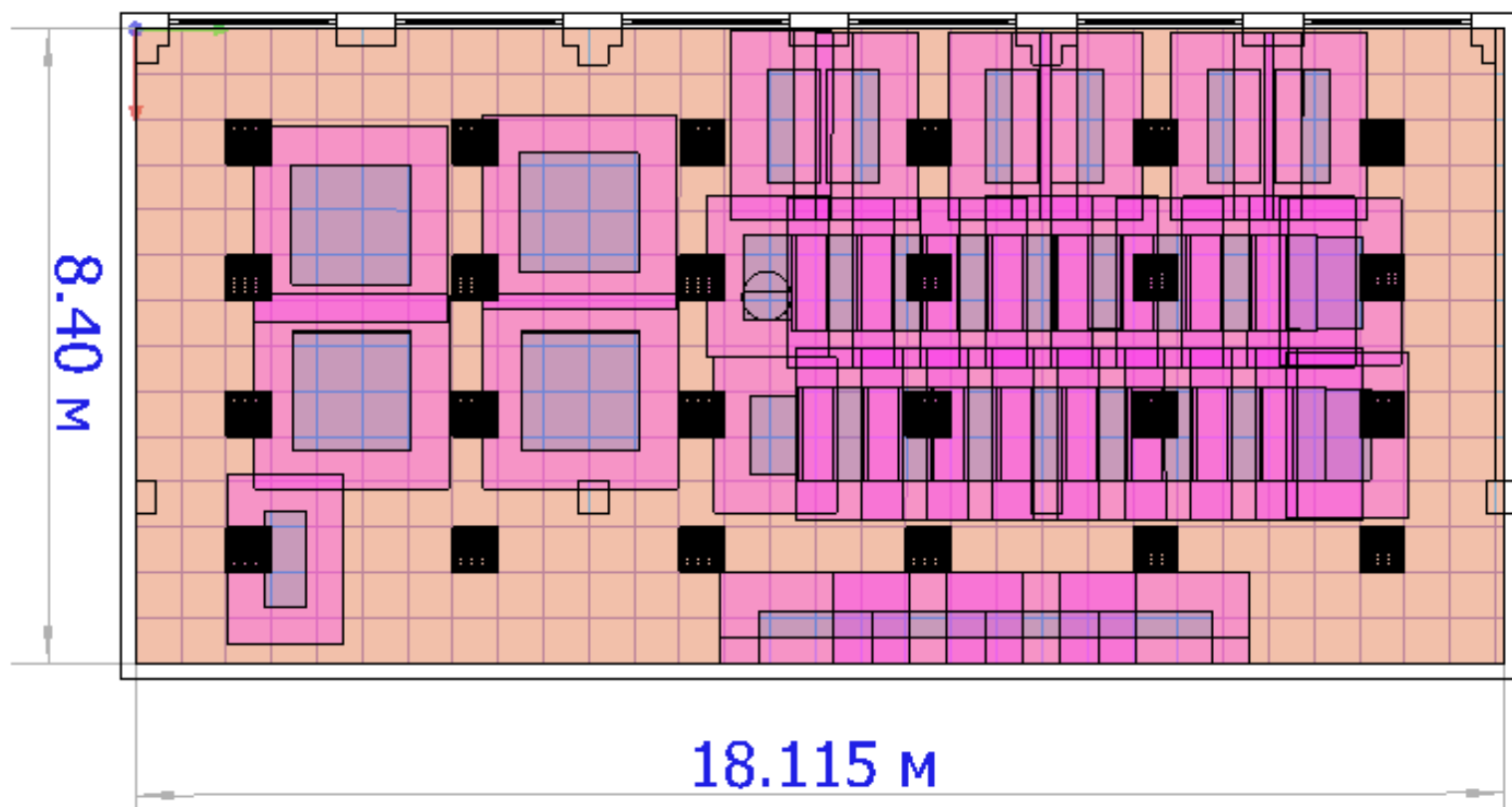


Рисунок 3.6 – Вигляд розрахункових площ (Синім кольором – візуальна зона завдання (стіл), рожевим – оточуюча зона)

Результати моделювання представлені у таблиці 3.3, в якій знаходиться кількісна характеристика освітленості робочих місць, що визначена розрахунковим методом та інструментальним методом, що реалізується у вигляді реальних вимірів за допомогою спеціалізованого приладу під назвою люксометр, також в таблиці 3.3 відображена норма освітленості для даних робочих місць.

Таблиця 3.3 – Результати моделювання та вимірів

Нумерація парт	Розрахована освітленість, Лк	Виміряна освітленість люксометром Лк	Норма освітленості
1	2	3	4
Дошка	126-229	190	400 і більше
СТ В.1	476-461	481	400 і більше
СТ В.2	478-474	491	400 і більше
С1, горизонтальне	232-377	283	400 і більше

Продовження таблиці 3.3

1	2	3		4
С1, вертикальне	154-253	160		400 і більше
С2, горизонтальне	251-399	288		400 і більше
С2, вертикальне	180-281	211		400 і більше
С3, горизонтальне	250-398	315		400 і більше
С3, вертикальне	172-280	199		400 і більше
С4, горизонтальне	247-392	300		400 і більше
С4, вертикальне	180-272	233		400 і більше
С5, горизонтальне	259-408	315		400 і більше
С5, вертикальне	180-286	226		400 і більше
С6, горизонтальне	227-366	242		400 і більше
С6, вертикальне	174-263	189		400 і більше
С7, горизонтальне	291-323	307		400 і більше
С7, вертикальне	223-274	240		400 і більше
С8, горизонтальне	268-298	273		400 і більше
С8, вертикальне	209-232	224		400 і більше
С9, горизонтальне	298-329	300		400 і більше
С9, вертикальне	226-279	242		400 і більше
С10, горизонтальне	266-296	263		400 і більше
С10, вертикальне	197-215	201		400 і більше
ЛС 1	397-491	364-408		400 і більше
ЛС 2	443-500	411-440		400 і більше
ЛС 3	400-484	324-355		400 і більше
ЛС 4	429-483	358-400		400 і більше
П1	438-461	П1.1: 440	П1.2: 454	400 і більше
П2	447-474	П2.1: 480	П2.2: 401	400 і більше

Продовження таблиці 3.3

1	2	3		4
П3	421-474	П3.1: 438	П3.2: 454	400 і більше
П4	409-465	П4.1: 464	П4.2: 447	400 і більше
П5	527-557	П5.1: 524	П5.2: 527	400 і більше
П6	516-550	П6.1: 545	П6.2: 520	400 і більше
П7	484-505	П7.1: 584	П7.2: 490	400 і більше
П8	478-539	П8.1: 523	П8.2: 481	400 і більше
П9	399-452	П9.1: 394	П9.2: 415	400 і більше
П10	377-457	П10.1: 439	П10.2: 434	400 і більше
П11	487-534	П11.1: 446	П11.2: 461	400 і більше
П12	458-521	П12.1: 475	П12.2: 447	400 і більше
П13	532-559	П13.1: 494	П13.2: 493	400 і більше
П14	528-559	П14.1: 501	П14.2: 490	400 і більше
П15	449-470	П15.1: 417	П15.2: 425	400 і більше
П16	448-473	П16.1: 433	П16.2: 429	400 і більше
П17	459-507	430		400 і більше
П18	451-492	444		400 і більше
СТ1	317-462	349		400 і більше

Проаналізувавши результати з таблиці 3.3, можна побачити що не всі місця задовольняють мінімальну норму освітлення, що взяті з державних норм України [10]. Однак, дані в таблиці відображають тільки частину із системи освітлення нежитлового приміщення, а саме частину з штучним освітленням.

Для перевірки повної системи освітлення приміщення на дотримання норм, потрібно додати до визначених результатів освітленість що надходить від природного джерела світла – сонця і перевірити чи отримані результати

освітленості будуть більше мінімального значення встановленої норми для освітлення.

Природне освітлення, на відміну від штучного не має постійного значення світлового потоку. Світловий потік природного освітлення залежить від багатьох факторів, таких як розташування будівлі, захищеність території навколо будівлі в якому знаходиться досліджуване приміщення деревами або іншими будівлями, вихід вікон відносно частин світу, часовий пояс, пора року, погода та багато інших факторів. При вимірюванні природного освітлення, що потрапляє на робочі місця, будуть враховані такі фактори як погода та пора року.

Вплив такого фактору як погода буде врахований наступним чином. Вимірювання відбуватиметься під час двох різних погодних умов:

- у сонячний день;
- у пахмурний день;

Вплив такого фактору як пора року буде врахований наступним чином. Вимірювання будуть проходити з місячними інтервалами.

Виміряні дані освітлення нежитлового приміщення в сонячний день на кінець вересня представлені у вигляді таблиці 3.4

Таблиця 3.4 – Виміри природного освітлення (Сонячний день – Вересень)

Нумерація робочих місць	08:30		09:30		10:30		11:30		12:30		13:30		14:30		15:30		16:30	
	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2
С1 Г	226		228		249		260		395		415		716		1020		703	
С2 Г	240		246		293		293		381		456		753		1140		2130	
С3 Г	248		255		315		300		260		402		720		918		606	
С4 Г	139,2		142,7		179		183,4		227		291		598		551		5030	
С5 Г	225		231		252		264		336		333		652		565		730	
С6 Г	100		106,2		133,6		154		223		247		503		618		564	
С7 Г	32,5		35,5		40,7		46		47		50		92,3		95		82,2	
С8 Г	23,6		24,2		26,1		32		37		41,7		79		76		65	
С9 Г	25,1		31,1		34,4		44		42		44		93,1		82		66	
С10 Г	22,7		27,1		30,3		39		42		46		100		88		76	
вікно 1	628		632		711		916		1190		1542		3600		8670		2330	
вікно 2	601		670		734		940		1235		1530		3860		3110		2330	
вікно 3	630		665		77		1047		1256		1686		3840		3210		8100	
вікно 4	558		589		725		790		1111		1343		3060		3010		1556	
вікно 5	354		409		521		630		691		1035		2070		4160		1193	
вікно 6	551		593		744		790		979		1222		2190		3660		4920	

Продовження таблиці 3.4

Нумерація робочих місць	08:30		09:30		10:30		11:30		12:30		13:30		14:30		15:30		16:30	
	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2
ЛС 1.1	113,5		133,3		170,9		212		266		277		601		705		431	
ЛС 1.2	88,2		112,9		115,5		135		167		1802		394		489		328	
ЛС 1.3	63,2		68		112,3		122		159		196		450		591		345	
ЛС 1.4	56,9		60,7		99,1		125		140		165		366		448		349	
ЛС 2.1	30,9		39		53,9		77,1		87		94		210		236		198	
ЛС 2.2	23,7		32,8		44,3		57		70		70		150		187		155	
ЛС 2.3	24,3		28,1		53		68		80		90,4		190		211		169	
ЛС 2.4	21,6		22,7		43,7		52		61		63,5		140		165		163	
ЛС 3.1	77,7		93,3		110,4		159		185		218		461		787		2040	
ЛС 3.2	49,1		56,7		59,1		98		122		132		299		402		8370	
ЛС 3.3	28		33,9		53,5		80		83		100		271		430		408	
ЛС 3.4	24,5		28,1		41,3		64		78		92		227		345		254	
ЛС 4.1	29,8		33,2		43,1		53		69		74		158		211		162	
ЛС 4.2	26,1		27,6		40,5		49		56		58		131		161		113	
ЛС 4.3	17,5		18,9		31		39		49		54		129		184		129	
ЛС 4.4	10,6		14,8		20,4		29		37		35		106		138		107	
СТ 1	12,62		13,4		17,5		35		39		36		95		94		65	
П1	60,6	52,2	60,6	52,5	64,1	61,1	136	103	164	137	210	165	426	324	491	380	420	263
П2	28,4	27,3	31,9	28	35,5	29,4	73	57	83	68	106	80	203	157	214	160	156	120
П3	60,4	44,5	62,8	55,3	74,4	63,3	118	104	150	126	200	167	420	337	44	357	307	272
П4	34,6	28,4	37,6	29,4	37,5	33,1	76	67	85	72	105	88	209	170	199	161	161	140
П5	88	64,4	89,1	64,9	98	68,5	173	116	198	143	238	183	481	365	540	364	438	300
П6	34	30,5	35	30,5	39	33	78	67	90	77	106	88	217	174	208	168	199	157
П7	78,2	48,5	82,4	61,7	89,8	68,2	170	128	190	150	243	188	490	374	440	344	504	330
П8	34,3	30,1	35	31,4	39,1	34,1	82	68	94	76	107	88	217	174	196	164	166	132
П9	32,3	43,6	37,7	44,8	48,3	54,3	91	97	121	126	158	150	397	332	283	266	540	243
П10	30,4	36,2	31,7	39,9	36,5	38,4	73	72	82	81	101	97	214	199	181	171	153	149
П11	59,6	46,8	60,2	48	69,5	55,4	124	100	146	118	186	148	425	335	327	257	310	260
П12	26,8	23,1	29,6	25,7	35,1	29,9	66	57	77	64	90	79	201	166	164	131	132	115
П13	60,3	47,6	72,4	48,4	79	57,5	145	106	165	123	208	156	451	333	336	265	344	290
П14	25,3	21,3	26,5	23,1	33,5	28	68	55	74	63	89	72	200	168	155	132	130	107
П15	20,3	47	23,9	48	64,5	58,3	128	105	148	123	183	150	413	335	284	251	401	250
П16	25,1	20,3	25,5	22,4	31,6	27,4	65	53	72	60	84	69	193	160	149	133	128	96
П17	52		53,7		64,5		120		133		167		367		285		218	
П18	28		28,3		33,5		66		75		87		184		154		109	
СТ В1	82,5		95,8		77		138		164		214		408		514		371	
СТ В2	35		38,8		52		79		87		113		201		234		183	
С1 В	158		162		172		195		273		295		501		683		492	
С2 В	166		165		208		205		271		342		535		787		1470	
С3 В	174		181		217		225		179		285		504		615		424	
С4 В	96		96		127		128		161		218		425		380		3471	
С5 В	158		164		174		198		232		236		456		379		511	
С6 В	69		71		95		108		158		185		357		426		389	
С7 В	23		25		28		35		32		36		65		64		58	
С8 В	16		16		19		22		26		31		56		52		45	
С9 В	18		22		24		33		29		31		65		55		46	
С10 В	16		18		22		27		30		35		71		61		52	
Дошка	30		33		84		174		198		240		450		445		420	

Виміряні дані освітлення нежитлового приміщення в хмарний день представлені у вигляді таблиці 3.5.

Дані в таблиці 3.5 та таблиці 3.6 відображають рівень освітленості наприкінці листопада.

Так, як о 16:30 освітленість нежитлового приміщення близька до нуля, вимірювання освітленості вважається некоректним.

Таблиця 3.5 – Виміри природного освітлення (Хмарний день – Листопад)

Нумерація робочих місць	08:30		09:30		10:30		11:30		12:30		13:30		14:30		15:30	
	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2
С1 Г	125		382		486		339		340		292		146		60	
С2 Г	186		565		777		553		564		471		232		92	
С3 Г	156		483		592		446		441		376		186		75	
С4 Г	157		440		530		421		419		358		163		71	
С5 Г	168		523		628		465		460		412		198		84	
С6 Г	145		398		545		369		377		330		152		61	
С7 Г	13		40		53		34		28		27		12		4	
С8 Г	10		35		47		29		23		24		11		3	
С9 Г	13		38		50		33		26		25		11		3	
С10 Г	15		41		53		32		27		27		13		4	
вікно 1	500		1463		2230		1592		1600		1245		666		257	
вікно 2	555		1487		2190		1622		1576		1376		668		280	
вікно 3	585		1591		2230		1708		1613		1349		670		288	
вікно 4	548		1468		2270		1459		1510		1144		617		263	
вікно 5	410		1027		1499		980		1130		568		306		136	
вікно 6	286		1106		1549		1048		1096		923		390		184	
ЛС 1.1	105		330		427		276		234		227		105		28	
ЛС 1.2	61		202		279		180		162		150		73		19	
ЛС 1.3	67		200		276		176		149		142		67		17	
ЛС 1.4	53		169		227		147		125		118		53		14	
ЛС 2.1	33		106		138		85		77		67		33		9	
ЛС 2.2	23		77		96		63		52		52		23		6	
ЛС 2.3	27		88		114		72		61		57		28		7	
ЛС 2.4	20		65		81		53		45		45		21		5	
ЛС 3.1	89		233		352		229		200		183		83		20	
ЛС 3.2	53		165		217		140		120		115		54		13	
ЛС 3.3	41		122		158		106		87		83		40		8	
ЛС 3.4	35		105		140		92		76		70		35		8	
ЛС 4.1	28		85		110		76		60		57		28		7	
ЛС 4.2	21		62		78		50		43		38		20		5	

Продовження таблиці 3.5

Нумерація робочих місць	08:30		09:30		10:30		11:30		12:30		13:30		14:30		15:30	
	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2
ЛС 4.3	18		52		68		47		38		34		18		4	
ЛС 4.4	14		40		52		35		28		27		13		3	
СТ 1	11		33		41		26		22		20		10		3	
П1	51	42	168	144	202	170	142	119	144	116	124	105	54	43	24	19
П2	24	19	81	66	105	81	70	53	62	48	59	44	24	19	9	6
П3	53	41	178	143	206	176	151	119	152	116	127	105	55	43	23	19
П4	24	20	88	74	108	87	71	57	63	52	58	46	24	21	8	7
П5	63	43	200	140	241	175	165	119	171	120	152	103	65	43	26	19
П6	25	21	90	74	113	93	75	59	64	54	58	48	25	21	8	7
П7	58	43	195	144	230	171	162	122	160	123	142	107	60	44	24	18
П8	26	20	94	73	117	92	74	57	65	52	60	47	26	22	8	7
П9	47	39	154	137	188	160,0	131	108	130	112	111	100	46	39	19	16
П10	25	24	88	85	112	108	73	70	62	61	56	56	25	24	8	8
П11	56	39	196	140	218	161	154	113	157	121	138	98	56	40	21	17
П12	54	20	85	70	110	89	69	56	60	50	57	45	25	20	8	6
П13	58	40	198	140	241	170	160	109	158	109	139	98	58	40	22	16
П14	24	20	83	68	107	87	68	52	60	48	54	43	24	20	7	6
П15	49	39	168	141	202	165	133	11	133	106	120	90	51	39	19	15
П16	24	20	82	67	104	84	62	52	57	45	52	43	22	19	7	6
П17	49		168		198		139		133		119		49		18	
П18	22		73		94		59		50		49		21		6	
СТ.В1	49		164		190		140		135		118		53		23	
СТ.В2	23		82		98		68		61		54		23		9	
С1 В	88		271		335		254		235		207		102		40	
С2 В	128		379		552		387		400		353		165		63	
С3 В	109		343		408		335		304		267		130		50	
С4 В	108		295		376		295		297		269		116		49	
С5 В	118		371		433		349		317		293		139		56	
С6 В	100		267		387		258		268		248		108		42	
С7 В	9		28		37		26		19		19		8		3	
С8 В	7		23		33		20		16		18		8		2	
С9 В	9		27		35		25		18		18		8		2	
С10 В	10		27		38		22		19		20		9		3	
Дошка	52		165		232		144		143		125		55		23	

Виміряні дані освітлення нежитлового приміщення в сонячний день представлені у вигляді таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Виміри природного освітлення (Сонячний день – Листопад)

Нумерація робочих місце	08:30		09:30		10:30		11:30		12:30		13:30		14:30		15:30	
	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2
С1 Г	219		264		333		434		448		535		295		54	
С2 Г	317		366		472		567		646		730		501		87	
С3 Г	286		331		399		490		525		671		336		75	
С4 Г	204		250		332		460		517		594		404		63	
С5 Г	284		329		393		463		492		650		355		80	
С6 Г	185		218		300		414		463		540		352		58	
С7 Г	30		37		47		63		56		68		22		3	
С8 Г	28		34		48		60		51		68		20		2,7	
С9 Г	29		36		48		65		56		73		22		2,9	
С10 Г	32		40		54		70		60		80		23		3,2	
вікно 1	683		785		989		1300		1413		1876		1086		262	
вікно 2	624		763		946		1238		1434		1962		995		264	
вікно 3	668		838		1018		1325		1400		2070		1055		273	
вікно 4	467		530		699		1160		1374		1622		979		218	
вікно 5	419		416		549		486		540		628		640		126	
вікно 6	450		514		712		729		870		1250		769		139	
ЛС 1.1	192		260		287		400		368		515		169		26	
ЛС 1.2	138		186		213		281		280		346		121		17	
ЛС 1.3	108		153		175		265		259		323		118		15	
ЛС 1.4	113		149		177		235		218		263		110		12	
ЛС 2.1	105		135		174		251		145		187		58		8	
ЛС 2.2	61		74		98		119		109		132		42		6	
ЛС 2.3	61		82		98		134		120		153		54		6,3	
ЛС 2.4	48		62		79		100		93		112		36		5	
ЛС 3.1	160		200		245		352		312		345		151		17	
ЛС 3.2	105		130		190		248		235		267		92		13	
ЛС 3.3	76		120		141		172		157		169		70		8	
ЛС 3.4	69		103		117		157		148		154		56		7,2	
ЛС 4.1	63		90		111		138		126		163		45		6	
ЛС 4.2	52		70		90		100		90		120		32		4,3	
ЛС 4.3	44		64		76		93		82		112		30		3,4	
ЛС 4.4	35		51		64		73		61		81		21		2,7	
СТ 1	20		31		41		58		52		67		17		2,2	
П1	100	86	118	100	150	138	192	170	216	180	258	218	187	113	18,7	14,5
П2	63	50	78	60	97	79	113	90	115	90	141	116	58	42	7,3	5,5
П3	87	79	100	95	335	130	200	168	222	192	274	224	130	138	18,1	14,8
П4	61	54	75	65	97	86	106	88	114	93	152	126	55	48	7,4	6
П5	122	86	137	105	177	142	237	174	254	191	327	233	151	139	21,2	14
П6	66	58	80	71	109	92	114	97	118	99	160	131	58	57	7,5	6
П7	118	93	143	114	180	151	217	175	234	195	296	243	201	206	21	15
П8	67	59	84	72	106	94	126	104	123	99	165	134	63	42	7,8	5,9
П9	72	82	97	109	130	137,0	184	168	202	179	279	228	115	96	15,6	13,2
П10	66	72	84	91	108	120	127	130	120	123	165	178	55	57	7,1	6,8
П11	101	85	133	120	163	145	220	175	243	187	320	248	126	203	19,2	13,6

Продовження таблиці 3.6

Нумерація робочих місць	08:30		09:30		10:30		11:30		12:30		13:30		14:30		15:30	
	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2	л1	п2
П12	67	72	85	70	106	93	126	105	122	98	169	133	55	47	7,1	5,6
П13	117	89	151	119	182	145	234	173	246	186	328	244	131	139	20,1	13,1
П14	69	55	82	68	104	91	140	103	120	94	165	128	58	40	6,6	5,2
П15	108	95	140	115	163	146	200	177	209	181	285	244	181	139	17,3	13
П16	63	55	81	69	103	92	125	101	113	94	160	124	56	40	6,4	5
П17	89		116		145		222		210		280		105		15,2	
П18	62		77		104		112		97		130		40		5,5	
СТ.В1	101		118		152		184		206		241		124		18,7	
СТ.В2	64		76		95		107		104		125		50		7,7	
С1 В	153		188		230		326		309		380		207		36	
С2 В	219		245		335		397		459		548		356		60	
С3 В	200		235		276		368		362		476		235		50	
С4 В	143		178		229		345		357		422		283		42	
С5 В	196		221		279		324		349		488		252		55	
С6 В	129		155		207		311		319		383		246		39	
С7 В	21		26		33		47		39		48		15		2	
С8 В	19		23		34		42		36		51		14		2	
С9 В	20		26		33		49		39		52		15		2	
С10 В	22		27		38		49		43		60		16		2	
Дошка	71		92		116		123		134		232		68		6,3	

Для того щоб визначити чи при системі освітлення, в якій додається електричне та природне освітлення, виконується встановлена норма освітлення, визначимо для яких місць при ввімкненому штучному освітленні норма освітлення не є задовільною.

Робочі місця із не задовільною освітленістю показані у вигляді таблиці 3.7, в якій міститься назва робочого місця та його освітленість від електричного освітлення.

Таблиця 3.7 – Робочі місця із незадовільною освітленістю

Нумерація парт	Розрахована освітленість, Лк	Виміряна освітленість люксометром Лк	Нестача до мінімальної норми, Лк
1	2	3	4
Дошка	126-229	190	274
С1, горизонтальне	232-377	283	168

Продовження таблиці 3.7

1	2	3		4
С1, вертикальне	154-253	160		246
С2, горизонтальне	251-399	288		149
С2, вертикальне	180-281	211		220
С3, горизонтальне	250-398	315		150
С3, вертикальне	172-280	199		228
С4, горизонтальне	247-392	300		153
С4, вертикальне	180-272	233		220
С5, горизонтальне	259-408	315		141
С5, вертикальне	180-286	226		220
С6, горизонтальне	227-366	242		173
С6, вертикальне	174-263	189		226
С7, горизонтальне	291-323	307		109
С7, вертикальне	223-274	240		177
С8, горизонтальне	268-298	273		132
С8, вертикальне	209-232	224		191
С9, горизонтальне	298-329	300		102
С9, вертикальне	226-279	242		174
С10, горизонтальне	266-296	263		137
С10, вертикальне	197-215	201		203
ЛС 1	397-491	364-408		36
ЛС 3	400-484	324-355		76
ЛС 4	429-483	358-400		42
П9	399-452	П9.1: 394	П9.2: 415	6
П10	377-457	П10.1: 439	П10.2: 434	23

Продовження таблиці 3.7

1	2	3	4
СТ1	317-462	349	83

Маючи значення освітленості якої не вистачає для виконання норми освітлення робочих місць, можна перевірити чи при системі освітлення яка включає в себе і природне і електричне освітлення виконується норма освітлення в 400 і більше люкс.

У таблиці 3.8 наведені результати розрахунку нестачі (-) або перевищення (+) встановленої норми освітлення для досліджуваного нежитлового приміщення. Розрахунки ведуться для трьох варіантів природного освітлення: освітлення в похмурий день листопада, ясний день листопада та вересня. Кожний період має мінімальне та максимальне значення освітленості протягом дня. Мінімальне значення відображене в колонках з підписом мін., максимальне з підписом макс.

Таблиця 3.8 – Визначення виконання норм освітлення

Нумерація робочих місць	Нестача до мінімальної норми	Діапазон природного освітлення						Нестача(-)/Перевищення(+) норми освітлення					
		Ясний день Вересень		Ясний день Листопад		Похмурий день Листопад		Ясний день Вересень		Ясний день Листопад		Похмурий день Листопад	
		мін.	макс.	мін.	макс.	мін.	макс.	мін.	макс.	мін.	макс.	мін.	макс.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Дошка	274	30	450	6	232	23	232	-244	176	-268	-42	-251	-42
С1 Г	168	226	1020	54	535	60	486	58	852	-114	367	-108	318
С2 Г	149	240	2130	87	730	92	777	91	1981	-62	581	-57	628
С3 Г	150	248	918	75	671	75	592	98	768	-75	521	-75	442
С4 Г	153	139	5030	63	594	71	530	-14	4877	-90	441	-82	377
С5 Г	141	225	730	80	650	84	628	84	589	-61	509	-57	487
С6 Г	173	100	618	58	540	61	545	-73	445	-115	367	-112	372
С7 Г	109	33	95	3	68	4	53	-77	-14	-106	-41	-105	-56
С8 Г	132	24	79	3	68	3	47	-108	-53	-129	-64	-129	-85

Продовження таблиці 3.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
С9 Г	102	25	93	3	73	3	50	-77	-9	-99	-29	-99	-52
С10 Г	137	23	100	3	80	4	53	-114	-37	-134	-57	-133	-84
С1 В	246	158	683	36	380	40	335	-88	437	-210	134	-206	89
С2 В	220	165	1470	60	548	63	552	-55	1250	-160	328	-157	332
С3 В	228	174	615	50	476	50	408	-54	387	-178	248	-178	180
С4 В	220	96	3471	42	422	49	376	-124	3251	-178	202	-171	156
С5 В	220	158	511	55	488	56	433	-62	291	-165	268	-164	213
С6 В	226	69	426	39	383	42	387	-157	200	-187	157	-184	161
С7 В	177	23	65	2	48	3	37	-154	-112	-175	-129	-174	-140
С8 В	191	16	56	2	51	2	33	-175	-135	-189	-140	-189	-158
С9 В	174	18	65	2	52	2	35	-156	-109	-172	-122	-172	-139
С10 В	203	16	71	2	60	3	38	-187	-132	-201	-143	-200	-165
ЛС 1	36	57	1802	12	515	14	427	21	1766	-24	479	-22	391
ЛС 3	76	25	8370	7	352	8	352	-52	8294	-69	276	-68	276
ЛС 4	42	11	211	3	163	0	110	-31	169	-39	121	-42	68
П9	6	32	540	13	279	16	188	26	534	7	273	10	182
П10	23	30	214	7	178	8	112	7	191	-16	155	-15	89
СТ1	83	13	95	2	67	3	41	-70	12	-81	-16	-80	-42

Розглянувши результати перевірки на виконання норми освітлення робочих місць для яких електричне освітлення не задовільняє встановлену норму освітлення для досліджуваного нежитлового приміщення (Таблиця 3.8) , можна побачити що тільки місце П9 протягом усього дня матиме задовільне освітлення. Інші робочі місця лише частково виконують норму освітленості. Тому, усі зазначені робочі місця в таблиці 3.8 потребують додаткового освітлення.

Причиною нестачі освітлення є кілька факторів:

– нестабільність природного освітлення. Усі місця в окремі години мали достатню кількість освітлення, але на відміну від електричного освітлення кількість Люкс що надходить на робочу поверхню від природного типу освітлення не є постійним. Природне освітлення залежить від багатьох факторів. Наприклад на Рис. 3.7 наведений графік залежності природного освітлення від години протягом дня для трьох різних варіантів природного освітлення на якому зображено зміну сили світлового потоку від часу вимірювання;

- розташування приміщення. Вікна нежитлового приміщення розташовані таким чином, що час коли на робочі місця потрапляють прямі промені світла не великий порівняно з усім періодом;

- наявність на робочих місцях габаритних приладів (місця від С1 до С10). Прилади заважають рівномірному розподілу освітлення робочих місць, що призводить до зниження рівня освітленості;

- наявність у приміщення колон. Для загального електричного освітлення, наявність геометричних об'єктів, які розташовані на шляху світлового потоку від джерела світла до робочого місця, має негативний характер, що характеризується зниженням рівня освітленості окремих робочих місць. Слід зазначити, що шляхом відбиття світлового потоку природного освітлення від колон, деякі робочі місця (такі як П10) отримували додаткове освітлення, а інші (такі, як С7) навпаки, отримували менший рівень освітлення, бо слугували в якості перешкоди на шляху світлового потоку;

вертикально розташовані робочі місця. Такі робочі поверхні як дошка, мають недостатній рівень освітленості через своє вертикальне освітлення відносно освітлювальних панелей. Частина світлового потоку, що припадає на вертикальну поверхню значно нижчий у порівнянні з горизонтально розташованою поверхнею. Тому необхідно встановити додаткове джерело освітлення для вертикальних робочих місць.

Як можна побачити з рис. 3.7, рівень освітленості суттєво відрізняється у різних місяцях, у вересні на кінець робочого дня освітленість максимальна, у той час як у листопаді рівень природної освітленості близький до нуля.

Також можна побачити, що у похмурий день рівень освітленості дещо нижчий ніж у сонячний.

Графік побудований на основі середнього значення рівня природної освітленості виміряного на кожній робочій площині.

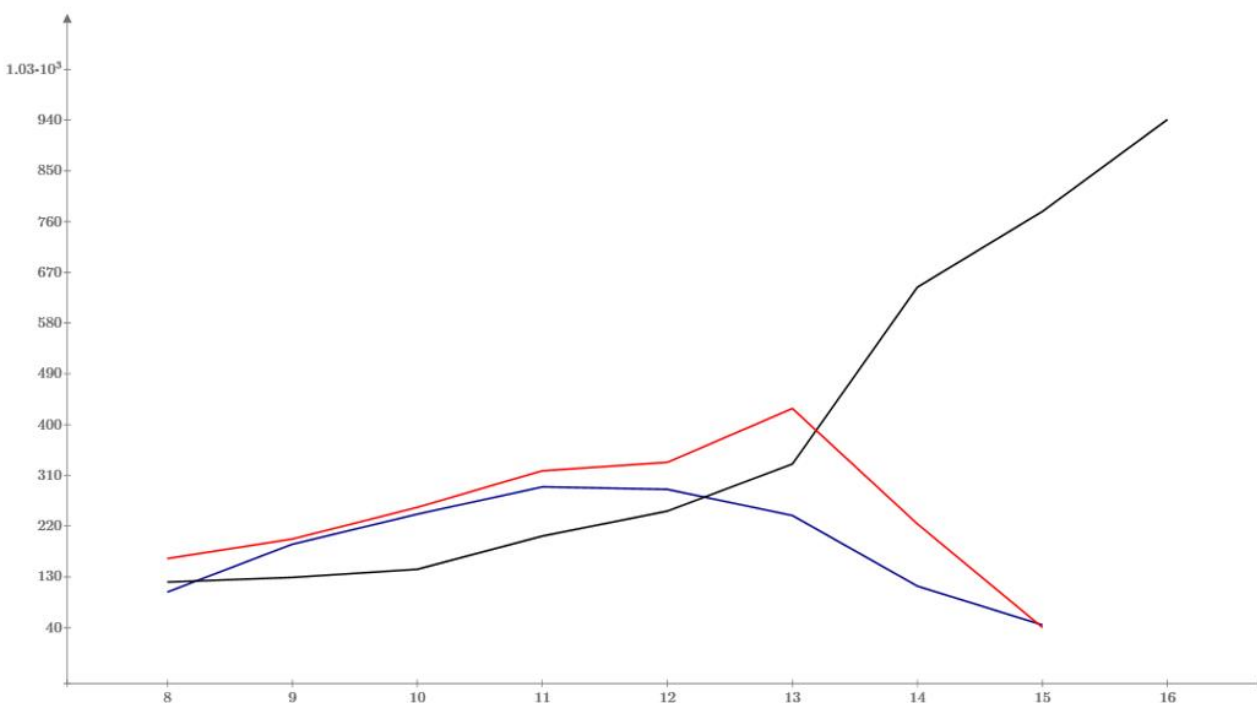


Рисунок 3.7 – Рівень природної освітленості ( чорна крива – сонячний день у вересні; червона крива – сонячний день у листопаді; синя крива – хмарний день у листопаді)

Зростання рівня природної освітленості у сонячний день в вересні після тринадцятої години зв'язаний з розташуванням вікон відносно сторін світу. Вікна виходять на західну сторону. Тому, найбільше значення природної освітленості саме у другій половині дня, коли у нежитлове приміщення потрапляють саме прямі промені світла, а не відбиті.

Низький рівень освітленості у другій половині дня в листопад пов'язано зі зміною нахилу сонця. У листопад нахил сонця помітно менший порівнюючи з вереснем і враховуючи те, що навколо будівлі в якій знаходиться досліджуване нежитлове приміщення знаходяться інші будівлі, в приміщення не потрапляють прямі промені світла.

### **Висновки до Розділу 3:**

1. Комп'ютерний метод розрахунку освітлення, застосований у розділі III, для визначення рівня освітленості робочих поверхонь, що розташовані у досліджуваному нежитловому приміщенні, дає прийнятний за точністю результат. Даний висновок підтверджується порівнянням виміряного рівня освітленості люксометром та розрахункових даних, що відображені в таблиці 3.3. Як випливає з цих даних, рівень освітленості в точці виміру входить в діапазон рівня освітленості робочих поверхонь.

2. Не всі робочі поверхні мають мінімальний рівень освітленості, що відповідає встановленій нормі освітленості в 400 люкс і більше. Світловий потік штучного джерела освітлення разом із природним джерелом освітлення не перевищує значення в 400 люкс на всіх робочих поверхнях. Дане твердження підтверджується даними з таблиць 3.3 та 3.8. В таблиці 3.7 відображена нестача рівня світлового потоку на робочих місцях з недостатньою освітленістю.

3. На рівень освітлення робочого місця впливає захащеність внутрішнього простору нежитлового приміщення, розташування джерел світла відносно робочих місць, можливість відбиття світлового потоку від стін, стан джерел світла і характеристики самого світлового потоку що потрапляє на робочу поверхню.

4. Існуюча система освітлення є незадовільною та потребує встановлення додаткових джерел світла або в систему загального освітлення, або створення зон місцевого освітлення для збільшення рівня освітленості на робочих поверхнях із незадовільною освітленістю.

## РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ

Виконуючи оцінку енергоефективності системи освітлення, увагу зазвичай зосереджують на таких двох сторонах системи освітлення [12]:

– Технічна сторона. В цей пункт входить вибір джерела освітлення в залежності від його електричного споживання і генерації світлового потоку за рахунок споживаної електроенергії. Споживання електричної енергії протягом тривалого проміжку часу (протягом дня та більше). Геометрія джерела освітлення. Якість світлового потоку (коефіцієнт пульсацій світлового потоку СВ). Технічні особливості експлуатації джерел світла.

– Якість використання освітлювальної установки. Енергоефективність використання освітлювальної установки ( Вмикання освітлення тільки при виконуванні роботи в нежитловому приміщенні). Регулювання сили світлового потоку в залежності від виконуваної роботи. Модульне використання системи освітлення ( ДС поділені по секторам, то використовувати тільки той сектор ОУ, що освітлює частину приміщення в якій проводяться роботи).

Система освітлення (СО) , що встановлена в нежитловому приміщенні ( Лабораторія 211), серед наведених вище параметрів аналізу енергоефективності СО з технічної сторони має визначені джерела освітлення, поділ ОУ на сектори, визначену геометрію ДС та незмінні параметри світлового потоку протягом дня роботи ДС.

В існуючій системі освітлення нежитлового приміщення використовують світлодіодні панелі (LED панелі), які є досить ефективними в порівнянні з іншими видами ДС ( таких як лампа розжарювання, газорозрядна лампа, галогенна лампа та ін.).

Система освітлення поділена на п'ять секторів (Рис 4.1), кожен сектор має різну кількість панелей що світяться.

Такий розподіл зроблений для того щоб освітлювати робочі місця по типу виконуваної роботи.

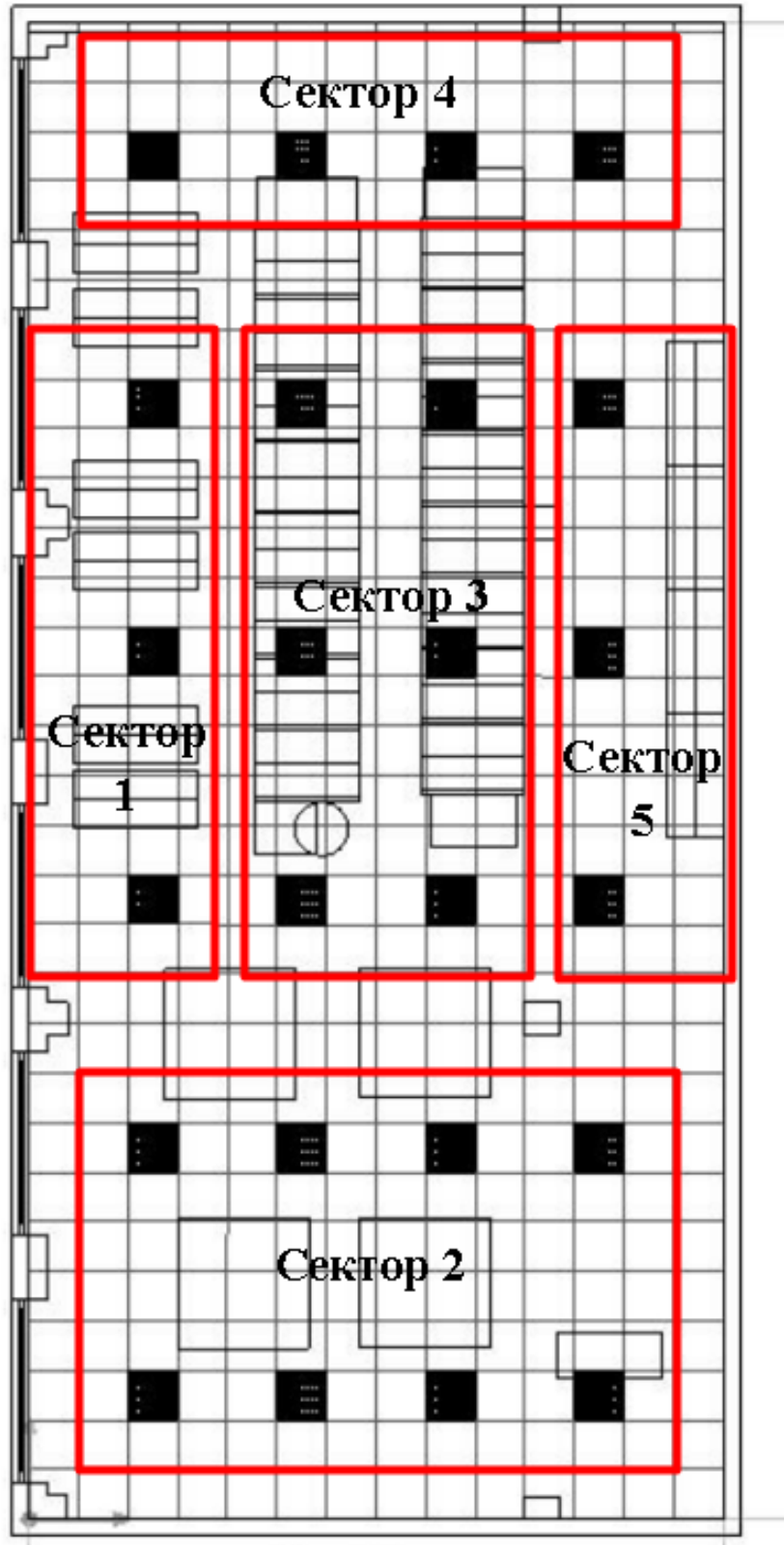


Рисунок 4.1 – Секторне розділення освітлювальної установки

Як видно з рис. 4.1, Система освітлення нежитлового приміщення розділена на п'ять секторів.

Кожен сектор має свою освітлювальну ділянку на якій розташовані певні робочі місця:

Сектор 1 освітлює частину приміщення в той час, коли проводяться роботи за лабораторними стендами від С1 до С6 (рис. 3.1).

Сектор 2 освітлює частину приміщення в той час, коли зайняті робочі місця від ЛС1 до ЛС4 та СТ1(рис. 3.1).

Сектор 3 освітлює частину приміщення в той час, коли проводяться заняття, що включають нотування на папері чи роботу за комп'ютером на робочих місцях від П1 до П18(рис. 3.1).

Сектор 4 освітлює частину приміщення в якій знаходиться дошка, та робочий стіл викладача(СТВ 1 та СТВ 2) (рис. 3.1).

Сектор 5 освітлює частину приміщення в той час, коли проводяться роботи за лабораторними стендами від С7 до С10 (рис. 3.1).

Таке розбиття на сектори, при достатній потужності джерел світла підняло б енергоефективність освітлювальної установи досить суттєво, шляхом меншого споживання електричної енергії в порівнянні, коли освітлювальна установка працює повністю. Але виникає питання, чи зможе окремий сектор задовільнити норму освітлення освітлюваних робочих місць, адже, спираючись на результати вимірів та розрахунків, що наведені в таблиці 3.3; таблиці 3.7; таблиці 3.8, ОУ в якій увімкнені всі сектори не може задовільнити норму освітлення для всіх робочих місць. Тому було проведено вимірювання в результаті якого було визначено рівень освітленості для кожного робочого місця від різних секторів, результати роботи відображені в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Рівні освітленості робочих місць

Нумерація робочих місць	Сектор №				
	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6
C1	7	0	12	282	4
C2	202	0	75	0	0
C3	209	0	72	32	0
C4	208	4	76	0	0
C5	241	5	88	4	8
C6	161	28	58	0	0
C7	6	3	58	47	220
C8	2	6	73	17	188
C9	7	9	63	7	232
C10	7	17	65	3	186
ЛС 1.1	151	122	93	0	0
ЛС 1.2	92	136	186	0	56
ЛС 1.3	51	321	51	0	2
ЛС 1.4	42	293	80	0	5
ЛС 2.1	34	141	248	2	34
ЛС 2.2	19	135	229	0	86
ЛС 2.3	18	273	100	1	25
ЛС 2.4	11	285	83	0	32
ЛС 3.1	13	313	13	0	3
ЛС 3.2	13	325	24	2	6
ЛС 3.3	4	332	4	1	3
ЛС 3.4	2	357	4	0	0
ЛС 4.1	9	360	28	1	5
ЛС 4.2	8	374	27	202	7
ЛС 4.3	22	345	4	0	0
ЛС 4.4	3	399	11	2	5
СТ 1	2	347	6	1	5
П1.1	50	0	114	266	0
П1.2	39	4	134	271	36
П2.1	16	3	129	298	43
П2.2	13	1	115	247	67
П3.1	100	6	233	124	24
П3.2	58	7	259	129	29
П4.1	19	2	249	141	67
П4.2	17	3	212	137	113

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
П5.1	125	0	322	53	20
П5.2	77	8	387	57	34
П6.1	30	6	390	63	83
П6.2	18	5	323	66	148
П7.1	139	8	305	26	23
П7.2	79	47	362	29	40
П8.1	31	6	389	29	93
П8.2	20	6	312	30	148
П9.1	132	7	237	10	16
П9.2	77	8	305	16	40
П10.1	27	9	53	3	93
П10.2	20	14	295	6	150
П11.1	161	18	285	7	22
П11.2	97	9	354	2	32
П12.1	31	16	379	2	95
П12.2	18	17	302	2	165
П13.1	158	16	302	1	20
П13.2	93	17	388	1	33
П14.1	33	20	383	5	79
П14.2	20	21	314	4	170
П15.1	135	29	262	7	26
П15.2	78	30	16	3	35
П16.1	29	25	309	2	85
П16.2	18	26	252	2	154
П17	108	37	292	3	26
П18	26	35	310	3	101
СТ.В1	30	0	65	393	10
СТ.В2	12	2	75	393	27
Дошка	26	0	57	345	8

Споживання електричної енергії працюючої ОУ на повну потужність за одну годину становить:

$$W = P \cdot n \cdot t = 40 \cdot 24 \cdot 1 = 960[\text{Вт} \cdot \text{год}]$$

де, P – потужність LED панелі, n – кількість панелей

#### **Висновки до розділу 4:**

Дані з таблиці 4.1 свідчать, що світловий потік(СП) від окремого сектора ОУ не може задовільнити норму освітленості.

Спираючись на дані з таблиці 3.3; таблиці 3.7; таблиці 3.8; таблиці 4.1, можна використовувати сектори попарно в тих місцях де рівень освітленості при повністю увімкненій ОУ є задовільним:

Для місць від П1 до П18 освітленість є задовільною а основний світловий потік надходить від трьох секторів з п'яти (сектори 1, 3, 5).  
 $W=40*12*1=480$  Вт\*год.

Для місць від ЛС1 до ЛС 4 Основний світловий потік надходить від сектору 2 і частково від секторів 1,3,5. Тому, для виконання норми рівня освітленості буде досить чотирьох секторів з п'яти, при наявності природного освітлення.  
 $W=40*20*1=800$  Вт\*год.

Для Дошки та робочих місць викладача СТ.В1 та СТ.В1 2 основну частину світлового потоку надходить від сектору 4 і частково від 1,3 та 5. Для виконання норми рівня освітленості необхідне природне освітлення.  $W=40*16*1=640$  Вт\*год.

Для місць від С1 до С6 світловий потік надходить від сектору 1 і частково від 3, 4 та 2 сектору. Для виконання норми рівня освітленості необхідне природне освітлення.  $W=40*21*1=840$  Вт\*год..

Для робочих місць від С7 до С10 основний світловий потік надходить від сектору 5, частково від 4, 3 та 2 сектору. Для виконання норми рівня освітленості необхідне природне освітлення.  $W=40*21*1=840$  Вт\*год.

Експлуатація секторного освітлення вказаним вище чином збільшує енергоефективність системи освітлення.

## РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ

### 5.1 Опис ідеї проєкту

У зв'язку із розвитком технологічного процесу, виникли можливості використання автоматизації не тільки для пришвидшення роботи, але і для заощадження енергетичних та природних ресурсів.

#### **Назва стартапу: "SmartLight Energy Manager (SLEM)"**

**Ідея:** "SmartLight Energy Manager" – це інноваційна система інтелектуального управління освітленням нежитлових приміщень, яка використовує передові технології для забезпечення енергоефективності та зручності управління, а також забезпечує аналіз енергоспоживання та економії.

#### **Основні характеристики та функції:**

##### **1. Інтелектуальне управління:**

- система автоматичного регулювання інтенсивності світла в залежності від природного освітлення та наявності людей у приміщенні;
- датчики руху та світла для оптимального використання енергії в реальному часі.

##### **2. Віддалене управління:**

- можливість віддаленого управління освітленням через мобільний додаток або веб-інтерфейс;
- здатність планування розкладу освітлення на величезних просторах або комплексах приміщень.

##### **3. Аналітика енергоспоживання:**

- інтегрована система аналітики, яка збирає дані про енергоспоживання та відображає їх у зручному форматі;
- графіки, діаграми та звіти щодо витрат електроенергії для детального аналізу.

#### 4. **Економія електроенергії:**

- система автоматичного вимикання або зниження інтенсивності світла під час періодів, коли приміщення порожнє або природне освітлення вдосталь;

- оповіщення та рекомендації для оптимізації енергозбереження.

#### 5. **Показники зекономленої електроенергії:**

- відображення реального часу та кумулятивних показників зекономленої електроенергії, що сприяє стимулюванню користувачів до використання енергоефективного освітлення;

#### 6. **Сонячні панелі та сенсори:**

- використання сонячних панелей на даху приміщення для збору сонячної енергії.

Цей стартап спрямований на створення інтелектуального, зручного та енергоефективного рішення для освітлення нежитлових приміщень, сприяючи ефективному використанню ресурсів та зниженню витрат електроенергії.

## 5.2 Етапи реалізації проєкту

Наступним кроком буде визначення етапів для реалізації стартап проєкту:

### **Етап 1: Підготовка та Проєктування**

#### 1. **Дослідження ринку:**

- проведення ретельного аналізу ринку освітлення та енергозбереження.

- визначення конкурентів, ключових гравців та можливостей для інновацій.

#### 2. **Визначення основного функціоналу:**

- встановлення ключового функціоналу системи інтелектуального освітлення та управління енергоефективністю.

### **3. Партнерство та збір команди:**

- вивчення можливостей партнерства з виробниками обладнання, постачальниками сенсорів, та компаніями з сфери енергоефективності;
- формування команди з інженерів, програмістів, технічних експертів та маркетологів.

### **4. Проведення концепції та дизайн:**

- створення концепції продукту, включаючи дизайн корпусу, інтерфейс користувача та ідентифікацію бренду.

## **Етап 2: Розробка Прототипу**

### **1. Апаратна розробка:**

- створення прототипу апаратної частини системи, включаючи сонячні панелі, світлодіоди, сенсори та систему управління.

### **2. Розробка програмного забезпечення:**

- розробка програмного забезпечення для інтелектуального управління, аналітики енергоспоживання та віддаленого доступу.

### **3. Тестування прототипу:**

- проведення тестів для визначення ефективності, стабільності та безпеки прототипу.

### **4. Збір зворотного зв'язку:**

- збір фідбеку від тестувальників та потенційних користувачів для подальших вдосконалень.

## **Етап 3: Вдосконалення та Оптимізація**

### **1. виправлення помилок та Оптимізація:**

- виправлення виявлених під час тестування помилок та оптимізація роботи системи.

### **2. Посилення безпеки:**

- впровадження додаткових заходів забезпечення безпеки та кіберзахисту.

### 3. **Оновлення та Розширення функціоналу:**

- додавання нових функцій, враховуючи зворотний зв'язок та вимоги користувачів.

### **Етап 4: Тестування та Валідація**

#### 1. **Кінцеве тестування:**

- проведення остаточного тестування системи на різних платформах та умовах експлуатації.

#### 2. **Валідація з експертами:**

- перевірка продукту експертами в сфері енергозбереження та технічних інженерів.

### **Етап 5: Випуск та Масове впровадження**

#### 1. **Виробництво:**

- масове виробництво апаратної частини та програмного забезпечення.

#### 2. **Маркетинг та Продажі:**

- розробка маркетингової стратегії та запуск рекламних кампаній;
- проведення продажів та встановлення партнерських відносин.

#### 3. **Навчання та Підтримка:**

- надання навчальних матеріалів користувачам та технічна підтримка.

#### 4. **Моніторинг та Оновлення:**

- постійний моніторинг роботи системи та виправлення виявлених проблем;
- регулярні оновлення для вдосконалення функціоналу та безпеки.

Цей план враховує ключові етапи в розробці стартапу з інтелектуального управління енергоефективністю освітлення. Однак, важливо враховувати гнучкість та адаптованість до змін у відповіді на відгуки.

### 5.3 Переваги та недоліки

Як і кожен інший проєкт, стартап має свої сильні та слабкі сторони:

#### **Сильні сторони проєкту "SmartLight Energy Manager":**

**1. Інноваційні технології:**

– використання передових технологій в сфері сонячної енергії, світлодіодного освітлення та інтелектуального управління.

**2. Енергоефективність:**

– система спрямована на значне зменшення витрат електроенергії та викидів CO<sub>2</sub>, сприяючи збереженню ресурсів та зменшенню екологічного впливу.

**3. Віддалене управління та Аналітика:**

– можливість віддаленого управління освітленням та детальна аналітика енергоспоживання, що дозволяє користувачам ефективно контролювати та оптимізувати витрати.

**4. Партнерство:**

– партнерство з виробниками сучасного обладнання, сенсорів та експертами з енергоефективності, що дозволяє використовувати найновіші технології.

**5. Безпека та Кіберзахист:**

– посилені заходи безпеки та широкі заходи кіберзахисту для захисту від несанкціонованого доступу.

#### **Слабкі сторони проєкту "SmartLight Energy Manager":**

**1. Вартість впровадження:**

– значні витрати на впровадження системи можуть стати бар'єром для деяких підприємств чи організацій.

**2. Наявність альтернатив:**

– ринок схожих продуктів може бути конкурентним, вимагаючи активної маркетингової стратегії для вирізнення.

### 3. Залежність від умов:

– результативність сонячних панелей та ефективність системи значною мірою залежать від метеорологічних умов, що може вплинути на їхню роботу.

### 4. Сфера впровадження:

– впровадження може виявитися більш складним у старих будівлях або об'єктах з обмеженими можливостями для розташування сонячних панелей.

### 5. Попередні витрати на дослідження та розробку:

– високі витрати на дослідження та розробку можуть вимагати додаткового фінансування перед тим, як проєкт буде прибутковим.

Ідеальною стратегією є визначення слабких сторін та подальше їх вдосконалення, зберігаючи при цьому переваги та унікальні риси проєкту.

## 5.4 Вартість реалізації

Вартість проєкту "SmartLight Energy Manager" буде значною мірою залежати від ряду факторів, таких як обсяги виробництва, обрані технології та постачальники, ринкові умови та рівень складності виробництва. Проте, можна зазначити основні статті капіталовкладень та їхнє обґрунтування:

### 1. Розробка та Програмне забезпечення:

– **обґрунтування:** Розробка апаратної частини та програмного забезпечення є ключовим етапом проєкту. Це включає в себе оплату розробників, інженерів, тестувальників, а також витрати на придбання програмних та апаратних інструментів для розробки.

– **прикладні витрати:** Заробітна плата розробникам, придбання програмних ліцензій, обладнання для тестування.

## 2. Апаратне забезпечення:

– **обґрунтування:** Витрати на виготовлення сонячних панелей, світлодіодів, датчиків та інших компонентів. Важливо обрати високоякісні матеріали та технології для досягнення оптимальної ефективності;

– **прикладні витрати:** Закупівля компонентів та матеріалів, витрати на виробництво та збірку.

## 3. Маркетинг та Реклама:

– **обґрунтування:** Для успішного впровадження продукту важливо провести ефективну маркетингову кампанію. Це включає рекламу, участь в виставках та подіях, створення презентацій та інші маркетингові витрати;

– **прикладні витрати:** Реклама в ЗМІ, створення веб-сайту, розробка рекламних матеріалів.

## 4. Дослідження та Розробка:

– **обґрунтування:** Попередні витрати на дослідження ринку, розробку концепції та прототипу, а також вивчення технічних можливостей та тенденцій ринку;

– **прикладні витрати:** Оплата експертів, проведення ринкових досліджень, придбання обладнання для розробки прототипу.

## 5. Виробництво та Збірка:

– **обґрунтування:** Витрати на масове виробництво апаратної частини та збірку кінцевого продукту;

– **прикладні витрати:** Оплата праці робітникам, закупівля матеріалів для виробництва.

## 6. Підтримка та Оновлення:

– **обґрунтування:** Вартість забезпечення підтримки користувачам та проведення регулярних оновлень для вдосконалення функціоналу та безпеки;

– **прикладні витрати:** Служба підтримки, розробка та впровадження оновлень.

Це лише загальний огляд можливих статей капіталовкладень. Кожна з них потребує детальнішого аналізу та обґрунтування в контексті конкретного проєкту та виконаних дій в ході реалізації.

Час окупності проєкту "SmartLight Energy Manager" буде визначатися кількома факторами, включаючи ринкові умови, рівень прийняття продукту користувачами, конкуренцію, а також ефективність маркетингових та продажних стратегій. Точний прогноз може бути складним, оскільки ряд зазначених факторів може змінюватися.

Однак, для оцінки можливого часу окупності, можна використовувати простий підхід:

1. **Розрахунок витрат:** Загальна сума інвестицій в проєкт.
2. **Прогноз доходів:** Оцінка потенційного ринку та прийняття продукту на ньому. Проведення оцінки можливої реалізації продукту за певний період.
3. **Визначення чистого прибутку:** Різниця між доходом та собівартістю продукції та інших затрат.
4. **Розрахунок часу окупності:** Відношення загальних витрат і чистого прибутку за період часу.

Наприклад, якщо сума інвестицій становить 1,000,000 доларів, а щомісячний чистий прибуток 50,000 доларів, час окупності складатиме 20 місяців ( $1,000,000 / 50,000 = 20$ ).

Важливо враховувати, що цей розрахунок базується на спрощених моделях та не враховує фактори ризику, змінні витрати, сезонність та інші фактори, які можуть впливати на окупність. Для точного прогнозу рекомендується провести більш детальний фінансовий аналіз для якого необхідна інформація вартості комплектуючих та послуг потрібного персоналу.

## **Висновки до розділу 5:**

Проект "SmartLight Energy Manager" є інноваційним стартапом, спрямованим на впровадження технологій енергоефективного освітлення в нежитлових приміщеннях. Нижче подані ключові висновки:

### **1. Інтеграція Технологій:**

– проект передбачає інтеграцію передових технологій, таких як сонячні панелі, світлодіодне освітлення та система інтелектуального управління, що дозволяє оптимізувати енергоспоживання та зменшувати витрати.

### **2. Вартість та Час Окупності:**

– при оцінці вартості проекту важливо врахувати основні статті капіталовкладень, такі як дослідження та розробка, виробництво, маркетинг та підтримка. Мінімальна сума для запуску може складати від 300,000 до 1,000,000 доларів, але точна цифра залежить від конкретних обставин;

– щодо часу окупності, він буде визначатися прийняттям продукту на ринку та швидкістю його реалізації. Прогнозований час окупності може бути в районі від 1,5 до 2 років.

### **3. Сильні та Слабкі Сторони:**

– система має суттєві переваги, такі як використання сучасних технологій, великий потенціал енергозбереження та можливість віддаленого управління;

– слабкі сторони включають високі витрати на впровадження, можливу конкуренцію на ринку та залежність від певних умов, таких як погодні умови для сонячних панелей.

### **4. План Реалізації:**

– реалізація проекту передбачає етапи від дослідження та проектування до випуску та масового впровадження. Важливо звертати увагу на тестування прототипу, оновлення та моніторинг для забезпечення стабільності та ефективності системи.

В цілому, "SmartLight Energy Manager" має значний потенціал для успіху, але вимагає уважного фінансового та стратегічного планування, а також ефективного управління ризиками.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена проблема визначення енергетичної ефективності освітлення нежитлового приміщення, яким є лабораторія 211 кафедри теоретичної електротехніки навчального закладу НТУУ КПІ.

1. Визначено основні складові системи освітлення нежитлового приміщення: природна складова освітлення та штучна (електрична) складова системи освітлення.

2. Природне освітлення не дає постійного значення світлового потоку і залежить від багатьох факторів, таких як погода або пора року, час доби, розташування, тощо.

3. Застосований у дослідженнях комп'ютерний метод розрахунку враховує більшу кількість додаткових параметрів, таких як коефіцієнт відбиття, захарашеність робочих місць та стан джерела освітлення, розташування робочої площини відносно світлового потоку від джерела освітлення, що в кінцевому результаті дає найбільшу точність вихідних даних. Це підтверджується порівнянням виміряного рівня освітленості люксометром та розрахункових даних. Як впливає з цих даних, рівень освітленості в точці виміру входить в діапазон рівня освітленості робочих поверхонь.

4. Енергоефективність системи штучного освітлення залежить від типу освітлювальних приладів, від організації системи освітлення та обсягів втрат електричної енергії.

5. В існуючій системі освітлення лабораторії 211 яка є об'єктом дослідження, здійснено поділ по секторам, яким, за задумом проєктувальників мала підвищитися енергоефективність освітлювальної системи. Однак, як показують результати досліджень, існуюча система освітлення не задовольняє в повній мірі норму освітленості, встановлену Державним стандартом України.

6. Для забезпечення рівня освітленості робочих поверхонь відповідно до вимог, встановленого Державним стандартом України, існуюча система

освітлення потребує встановлення додаткових світильників для загального освітлення чи заміни існуючих світильників на більш потужні. Також, можна створити місцеве освітлення для місць з недостатньою освітленістю, що буде найбільш вигідно економічно.

7. Реалізація заходів з підвищення енергоефективності згідно рекомендацій стартап проєкту, може дати економію не менше 5% спожитої на освітлення лабораторії 211 електричної енергії

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрійчук В.А. Світлотехніка й електротехніка: історія, проблеми й перспективи. Праці II міжнародної науково-технічної конференції, приуроченої 160-річчю видатного українського фізика, піонера в галузі світлотехніки і електротехніки професора Івана Пулюя. – Тернопіль.: 2005. – 170с.
2. ДП «НЕК» УКРЕНЕРГО» Досвід країн Євросоюзу з підвищення енергоефективності, енергоаудиту та енергоменеджменту з енергоощадності в економіці країн. Відокремлений підрозділ. – К.: 2017. – 213с.
3. МОНІТОРИНГ ОСВІТЛЕНOSTІ ВСЕРЕДИНИ ПРИМІЩЕННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ II СВІТЛОКЛІМАТИЧНОГО РАЙОНУ: дослідження ефективності використання сонячних модулів фотоелектроперетворювачів всередині приміщення. / Д. П. Коломієць , Л. Л. Харченко , Т. В. Суржик , Н. В. Кольба.
4. Економія електроенергії на підприємстві: основні способи [електронний ресурс]. Режим доступу: <https://eenergy.com.ua/energoefectyvnist/ekonomiya-elektroenergiyi-na-pidpryyemstvi/>
5. ДЖЕРЕЛА І УСТАНОВКИ ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ / Кушлик Р.В., Постол Ю.О., Кушлик Р.Р.. – Мелітополь, 2020. – 145 с.
6. Основні світлотехнічні величини [електронний ресурс]. Режим доступу: <https://corelamps.com/yak-obraty-svitylnyk-chy-lampochku/osnovni-svitlotekhnichni-velychny/#Osvitlenist>
7. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. – К.:Основа, 2006 – 448 с.
8. Електрообладнання та електропостачання машин і установок геотехнічних виробництв [Електронний ресурс]: підручник для студ. Спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»,

спеціалізації «Електромеханічні та мехатронні системи геотехнічних виробництв» / І. С. Рябенко, С. П. Шевчук, О. В. Мейта ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 15,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 633с.

9. Методичні вказівки щодо виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Світлотехнічні установки та системи» для студентів денної та заочної форм навчання зі спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітнього ступеня «Бакалавр»./ к. т. н., доц. А. І. Ломонос, к.т.н., ст.викл. В.Ю.Ноженко.–КРЕМЕНЧУК: КНУ ім.Михайла Остроградського, 2021. – 49с.

10. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Технічні норми. - Чинні з 28.02.2019. – К.: 2018. – 133с.

11. Норми освітлення [електронний ресурс]. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/1850657/page:3/>

12. Козак К.М. Системний підхід до оцінки енергоефективності джерел світла та освітлювальних установок. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.09.07 — світлотехніка та джерела світла / К.М. Козак — Тернопіль, 2014. - 20 с.