

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

Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра електричної інженерії

(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Моделювання та аналіз характеристик систем освітлення та електропостачання відкритих спортивних майданчиків загальноосвітніх шкіл.

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи EE  
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехні

електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Брегін М.М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Чубатий Ю.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Консультант Андрійчук В.А.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Тарасенко М.Г.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Габрусєв В.Г.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Факультет Прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)  
Кафедра Електричної інженерії  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Тарасенко М.Г.  
(підпис) (прізвище та ініціали)  
« » 2020 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

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

студенту Брегін Марічці Михайлівні  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделювання та аналіз характеристик систем освітлення та електропостачання відкритих спортивних майданчиків загальноосвітніх шкіл.

Керівник роботи ст. викл. Чубатий Юрій Олегович  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «01» вересня 2020 року № 4/7-619

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21.12.2020 р.

3. Вихідні дані до роботи

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

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



## РЕФЕРАТ

Брегін М.М. Моделювання та аналіз характеристик систем освітлення та електропостачання відкритих спортивних майданчиків загальноосвітніх шкіл, 141

– Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕМз-61. – Тернопіль: ТНТУ, 2020.

Стор. – 83; рис. – 24; табл. – 8; плакатів – 7; джерел – 30.

У кваліфікаційній роботі приведено результати моделювання й аналізу характеристик моделі освітлювальної установки та системи її електропостачання для типових відкритих спортивних шкільних майданчиків.

При проектуванні системи освітлення та її електроживлення за основні та найбільш важливі критерії вибору вибиралися: відповідність світлотехнічних характеристик джерел світла та світлових приладів поставленому завданню, їх доступність в Україні, гарантійні умови обслуговування обладнання, економічно вигідна собівартість.

Використовуючи результати проведених у роботі розрахунків, вибрану світлотехнічну продукцію, виконано проект системи освітлення шкільного спортивного майданчика у селі Стегниківці Тернопільської області.

**Ключові слова:** освітлювальна установка, осьова сила світла, світловий потік, мережа електропостачання, світлодіодний прожектор, освітленість, математичне моделювання, ізолінії освітленості, MathCad, DiaLux, ступінь захисту, корельована колірною температура.

## ABSTRACT

Bregin Marichka. Modeling and analysis of characteristics of lighting systems and their power supply for school sports grounds. 141 – Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics. Ternopil’ Ivan Puluj National Technical University. Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering. Department of Electrical Engineering, group EEM3-61. – Ternopil: TNTU, 2020.

Page – 83; Illustrations – 34; Tables – 6; Blueprints –7; Sources –30.

The qualification work presents the results of modeling and analysis of the characteristics of the model of the lighting installation and its power supply system for typical outdoor sports school grounds.

When designing the lighting system and its power supply, the main and most important selection criteria were selected: compliance of lighting characteristics of light sources and lighting fixtures with the task, their availability in Ukraine, warranty conditions for equipment, cost-effective.

Using the results of calculations performed in the work, selected lighting products, the project of the lighting system of the school sports ground in one of the settlements of Ternopil region was performed.

**Key words:** lighting installation, axial light intensity, luminous flux, power supply network, LED floodlight, illumination, mathematical modeling, isolines of illumination, MathCad, DiaLux, degree of protection, correlated color temperature.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ .....	12
1.1 Аналіз систем освітлення шкільних спортивних майданчиків .....	12
1.2 Вибір джерел світла для освітлювальної установки по їх світлотехнічних характеристиках.....	16
1.3 Аналіз фотометричних параметрів прожекторів з різними типами відбивачів.....	21
1.4 Висновки до розділу.....	24
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ .....	25
2.1 Методики попереднього розрахунку освітлювальної установки .....	25
2.2 Переваги точкового методу при моделюванні освітлювальних установок .....	28
2.3 Проектно-конструкторська послідовність моделювання систем прожекторного освітлення.....	33
2.4 Конструкторські особливості встановлення світлових приладів .....	38
2.5 Світлотехнічні особливості LED прожекторів і світильників .....	42
2.6 Особливості системи електроживлення світлодіодної освітлювальної установки .....	46
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	48
3.1 Аналіз результатів теоретичного дослідження фотометричних характеристик світлових приладів .....	48
3.2 Програмний модуль дослідження освітленості створеної прожекторами..	52
3.3 Програмний модуль дослідження спектру свічення світлодіодів.....	59
3.4 Моделювання системи освітлення реального майданчику в середовищі DiaLux .....	66

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	74
4.1 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	74
4.1.1 Надання першої допомоги при ураженні електричним струмом .....	74
4.1.2 Дія електричного струму на організм людини .....	74
4.2 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	76
4.2.1 Пожежна безпека на об'єкті, що проектується .....	76
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	80
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	81

## ВСТУП

Системи штучного освітлення для спортивних об'єктів є найбільш розповсюдженими інженерними пристроями, у тому числі повинні бути такими і для відкритих спортивних майданчиків загальноосвітніх шкіл. Їх моделювання та проектування, розробка, експлуатація вимагає значних затрат матеріальних засобів, електроенергії, інтелектуальної людської праці. Проте, такі затрати з надлишком виправдані тим, що забезпечується можливість активного життя та діяльності в умовах відсутності або недостатнього природного освітлення не лише молодого покоління, але й людей, які проживають поблизу спортивних майданчиків.

Здоровий образ життя, інтерес до тренувального процесу чи просто занять фізкультурою, спортивних змагань розширює вимоги, що ставляться до освітлювальних установок спортивних об'єктів (зокрема спортивних майданчиків загальноосвітніх шкіл). Виникає необхідність нормування освітлення не лише в горизонтальній та вертикальних площинах, але й у площинах, нахилених під певними кутами до горизонту, так як саме на такі спрямована найбільш ймовірна лінія поля зору учасників спортивних занять, глядачів.

Ставляться більш точні вимоги до рівномірності розподілу освітленості у різних площинах освітлювального об'єкту. Важливу роль відіграють спектральний склад випромінювання, його кольоровість, світлова віддача джерел світла.

Вирішенню проблеми енергозбереження також надається великого значення. В освітлювальних установках (ОУ) затрачається до 20 % електроенергії, яка виробляється. Сучасні дослідження доводять, що є можливість майже вдвічі знизити витрату енергії без погіршення умов освітлення, а за рахунок вдосконалення засобів і способів освітлення, реконструкції діючих систем освітлення, оптимізації їх експлуатації. Тому одним з важливих завдань при моделюванні світлотехнічних установок є питання раціонального використання електричної енергії.



А тому, виходячи з аналізу вимог до джерел світла, світлових приладів, діючих і тих, що проектуються, освітлювальних установок видно, що завдання освітлення спортивних об'єктів, яке б забезпечило умови для проведення комфортних умов тренувань, змагань пов'язана з вирішенням цілого комплексу достатньо непростих завдань.

**Актуальність теми.** Актуальність роботи визначається специфічними вимогами до освітлювальних установок, систем їх електропостачання для спортивних майданчиків загальноосвітніх шкіл, а саме до спектральних характеристик джерел світла, визначеному розподілу світлового потоку світловими приладами, оптимальному виборі конкретної системи освітлення, яка створює необхідні за значеннями та рівномірні рівні освітленості нормованих площин спортивного майданчику; забезпеченням освітлювальної установки електроенергією зі стабільними характеристиками, дотриманням умов енергозбереження.

Тому дослідження, спрямовані на аналіз спектрального розподілу потоку випромінювання джерел світла, розрахунку рівнів освітленості горизонтальної та вертикальних площин спортивного майданчику та рівномірності освітлення, відповідно, оптимального розташування світлових приладів, проектування системи живлення реальної освітлювальної установки та, на основі такого аналізу, моделювання системи освітлення, системи її електропостачання, дозволять підвищити експлуатаційну надійність світло- та електротехнічного обладнання.

**Мета і завдання дослідження.** *Метою* дослідження є надання рекомендацій для розробки та проектування освітлювальної установки для типових відкритих спортивних майданчиків загальноосвітніх шкіл (основне їх призначення – проведення уроків фізкультури, тренувань з ігрових видів спорту, переважно з мініфутболу, волейболу, баскетболу), яка б задовольняла усім конструктивним, техніко-експлуатаційним та економічним вимогам.

***Завдання дослідження:***

1. Дослідити криві сили світла різних типів світильників, що можуть застосовуватися для освітлення відкритих спортивних об'єктів.

2. Вибрати тип світлового приладу, світловий потік якого максимально дифузно попадав поверхню спортивного майданчика, а технічні характеристики відповідали б заданим кліматичним умовам.
3. Вибрати джерело світла, яке може бути використано у вище згаданому світловому приладі і, яке б створювало освітленість згідно норм.
4. Знайти вдале розташування світильників (визначити висоту і місце розташування, відстані між ними та їх кількість).
5. Створити можливість швидкого розрахунку освітленості в будь-якій точці нормованої площини спортивного об'єкту, з високою точністю та за допомогою ЕОМ.

**Об'є**

**кт дослідження** – освітлювальні установки та системи їх електропостачання для відкритих спортивних майданчиків загальноосвітніх шкіл.

**Предмет дослідження** – закономірності функціонування систем освітлення та електропостачання спортивних майданчиків, електротехнічні та світлотехнічні параметри їх роботи.

**Методи дослідження.** Аналіз роботи освітлювальних установок, систем їх електропостачання, моделювання освітлення спортивних майданчиків проводилися із застосуванням математичних моделей проектування, в яких використовувалися матричні розрахунки, операторний метод розв'язку алгебраїчних, диференційних та інтегральних рівнянь. Визначення фотометричних характеристик джерел світла, світлових приладів, числових значень рівнів освітленості, коефіцієнтів нерівномірності освітлення в дослідженнях проводилися непрямими методами. Дослідження теоретичних закономірностей, обробка експериментальних даних проводилися математично-статистичними методами, застосовувалися пакети програм «Microsoft Office», «MathCad», «DiaLux», «Maple».

#### **Наукова новизна отриманих результатів:**

1. Доповнено методику точного визначення та розрахунку просторового розподілу світлового потоку світлових приладів прожекторного типу (індикатриси сили світла).

2. У процедурі розрахунку рівнів освітленості горизонтальної та вертикальних площин спортивних майданчиків зроблено можливість врахування коефіцієнтів нерівномірності із заданою відносною похибкою.
3. Для аналізу рівномірності освітлення різних площин спортивного майданчика запропоновано використання інтегральних характеристик світлового середовища.

### **Практичне значення отриманих результатів**

1. Уточнено методику визначення індикатриси сили світла світлових приладів прожекторного класу.
2. Досліджено та проаналізовано спектральний склад випромінювання сучасних джерел світла на прикладі ламп ДРІ, світлодіодних (LED).
3. Запропоновано вдосконалення методики розрахунку характеристик освітлювальних установок для відкритих спортивних майданчиків.

### **Апробація результатів магістерської роботи.**

Основні положення роботи і її результати доповідалися на ІХ Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 25-26 листопада 2020 р. (Тернопіль 2020 р.)

### **Публікації.**

За результатами виконаних досліджень опубліковано тези доповіді «Моделювання та аналіз характеристик систем освітлення та їх електропостачання для відкритих спортивних майданчиків загальноосвітніх шкіл». Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25–26 листопада 2020.) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль: ТНТУ, 2020. – с. 96.

### **Структура роботи.**

Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (30 найменування).

Загальний обсяг текстової частини: 83 сторінок, 7 таблиць, 22 рисунки.

# 1 АНАЛІТИЧНА РОЗДІЛ

## 1.1 Аналіз систем освітлення шкільних спортивних майданчиків

Аналіз літературних, інтернет джерел, візуальні спостереження, проведені під час підготовки кваліфікаційної роботи, показали, що у більшості загальноосвітніх, спеціалізованих шкіл міста Тернополя, Тернопільського району взагалі відсутні системи освітлення на шкільних спортивних майданчиках. 87% майданчиків не мають освітлювальних установок. Щоправда, в останнє десятиліття за кошти в основному спонсорів та меценатів у новостворених та існуючих навчальних закладах спортивні майданчики обладнуються освітлювальними установками. Тому моделювання, проектування таких систем освітлення є актуальним завданням сьогодення.

Основне призначення освітлювальних установок відкритих спортивних споруд, до яких відносяться спортивні майданчики загальноосвітніх шкіл, полягає у створенні достатньої видимості об'єктів спостереження для учасників занять фізкультурою, спортсменів, спостерігачів у темний час доби (з жовтня по квітень це орієнтовно з 17-ї до 22-ї годин). Залежно від виду занять, тренувань, змагань об'єктами спостереження можуть бути як самі учасники, спортсмени (гімнастика, біг, стрибки і т.п.), так і спортивні снаряди (м'ячі, диск, інші).

Для того, щоб забезпечити необхідну видимість об'єкта спостереження, потрібно створити на ньому деяку освітленість, тобто певну густину світлового потоку. Ця величина визначається в люксах і для різних споруд й видів спорту може мати різні значення, які наводяться у «Нормах електричного освітлення спортивних споруд» [5].

Різниця у значеннях освітленості визначається тим, що об'єкти спостереження рухаються з різною швидкістю, мають різні розміри, знаходяться на різних відстанях від спостерігачів і створюють із фоном, на якому їх видно, контраст. У нормах наведені величини освітленості в горизонтальній площині, що найпростіше піддаються розрахунку і вимірюванню, а в найвідповідальніших випадках нормується також освітленість в основних вертикальних площинах. На спортивні об'єкти частіше дивляться з різних сторін, тому в загальному випадку повинно відбуватися їх об'ємне освітлення.

Не менше значення у створенні достатнього рівня видимості має контраст об'єкта спостереження з фоном, тобто відмінність у яскравості об'єкта та фону. Достатньо високий контраст може бути отриманим за рахунок різного освітлення об'єкту та фону, а також за рахунок їх різного забарвлення.

Для отримання високої якості освітлення спортивних споруд важливо правильно вибрати напрями, в яких виконується освітлення.

При правильному напрямі падіння світлового потоку на територію спортивного майданчика створюються і необхідні рівні освітленості, об'ємність освітлення, і необхідний контраст. Проте освітлювальні прилади мають засліплюючу дію, що погіршує видимість об'єктів спостереження.

Засліплююча дія світлових приладів характеризується коефіцієнтом засліпленості, який показує, у скільки разів погіршується видимість об'єкту спостереження при дії засліплюючого світлового потоку світлового приладу (джерела світла). Величина коефіцієнта засліпленості зростає при збільшенні освітленості, яка створюється такими джерелами випромінювання на зіниці ока спостерігача, і зменшується із зростанням кута, під яким видно джерело світла, та звичної для ока спостерігача яскравості фону, на якому видно об'єкти спостереження.

Особливо сильно засліплююча дія залежить від кута спрямування світлового потоку. Тому для його зменшення світильники і прожектори встановлюють на достатньо великій висоті і в таких місцях, щоб вони знаходилися якнайдалі від нормального напрямку лінії зору спортсменів і глядачів.

До системи освітлення ставиться також вимога рівномірності розподілу освітленості. Це необхідно для того, щоб в різних місцях спортивного майданчика тренування або змагання проходили в однакових умовах. Так, на ігрових майданчиках відношення максимальної горизонтальної освітленості до мінімальної не повинне бути більше 3:1.

Разом з чисто технічними питаннями при освітленні спортивних споруд доводиться вирішувати й економічні питання. Вартість установки має іноді вирішальне значення для її виконання. Дійсна економічність установки залежить не тільки від її первинної вартості, але і від кількості споживаної електроенергії, і від терміну служби установки, і її надійності в експлуатації. При проектуванні необхідно враховувати всі ці питання.

Освітлення стадіонів, у тому числі і шкільних, та менших за розмірами (30-45 м по довжині на 15-25 м по ширині) майданчиків для проведення уроків фізичного виховання, ігрових видів спорту (футбол, хокей з м'ячем, волейбол, баскетбол, гандбол, інше) одержало найширший розвиток.

Проекти освітлювальних установок реалізуються по одній із трьох систем, схеми яких показані на рисунках 1.1-3.

Система чотирьох щогл (рисунок 1): найпоширеніша в нашій країні та в більшості інших країн. При освітленні майданчика за цією системою прожектори встановлюються на чотирьох високих щоглах, розташованих по кутах освітлювальної території. Прожектори з кожної щогли при цій системі освітлення спрямовані безпосередньо на горизонтальну площину футбольного поля чи спортивного майданчика та створюють, разом з необхідними рівнями освітленості в горизонтальній площині, доволі задовільні рівні освітленості у вертикальній площині, що проходить через повздовжню вісь поля. При такому напрямку прожекторів створюється задовільна рівномірність освітлення в межах освітлювального об'єму.

Висота установки прожекторних батарей визначається залежно від відстані між основами щогл і подовжньою віссю поля. При цьому перпендикуляр, опущений з будь-якого прожектора на подовжню вісь поля або її продовження, повинен складати з горизонтальною площиною кут не менше  $27^\circ$ .

Основи прожекторних опор планується встановити за межами поля так, щоб кут між напрямом від основи щогли на центр воріт і продовженням подовжньої крайньої лінії майданчика становив  $10 - 15^\circ$  (рис. 1).

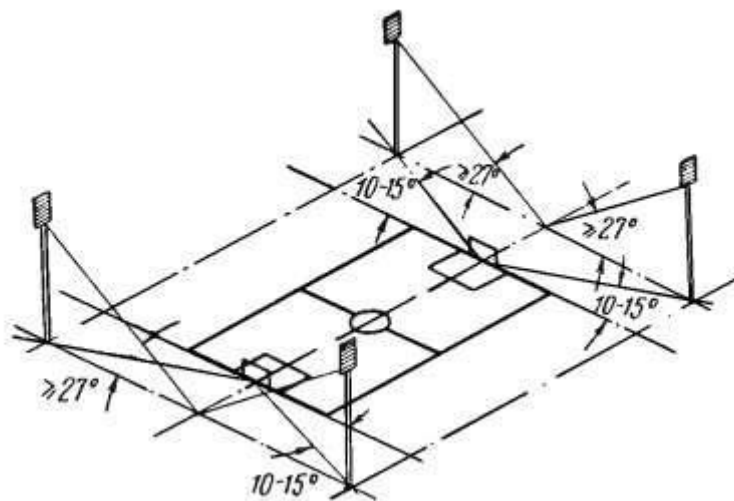


Рис. 1

Схема розміщення 4 прожекторних щогл для освітлення спортивних майданчиків

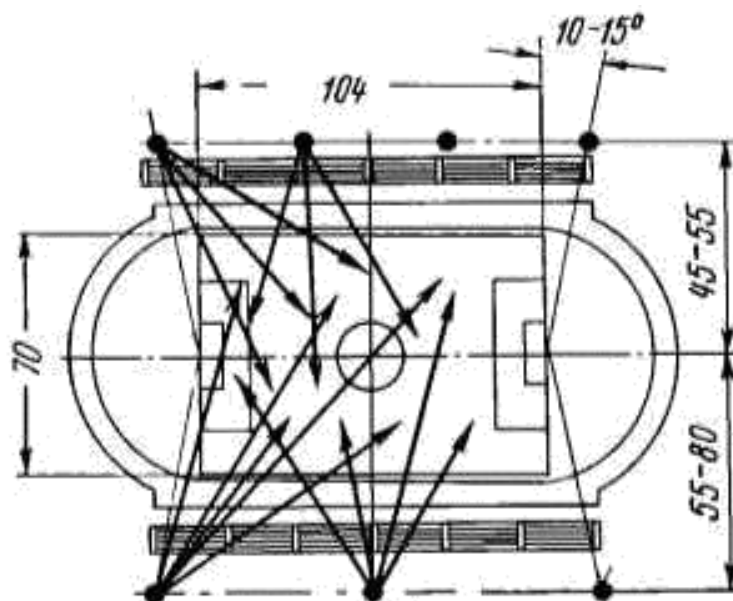


Рис. 2

6-ти чи 8-ми щоглова система освітлення.

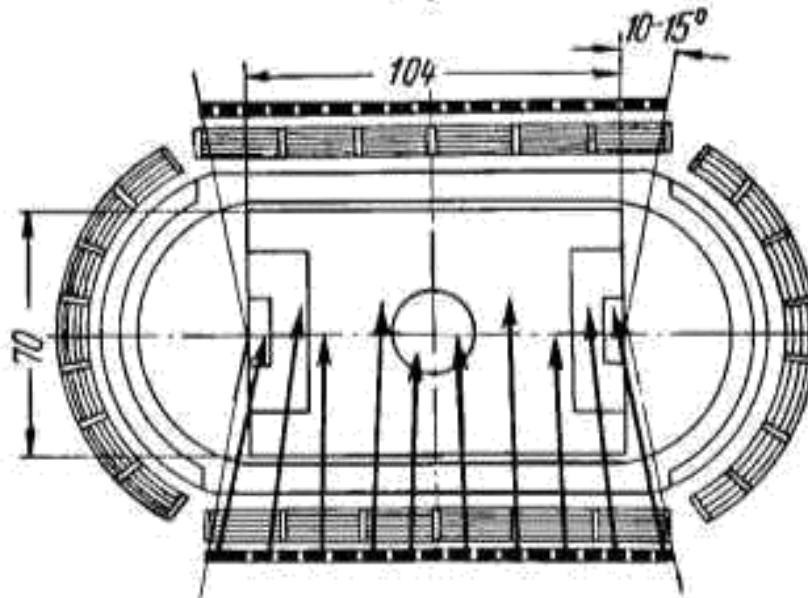


Рис. 3

Лінійна система освітлення.

Детальний опис переваг та недоліків інших можливих варіантів систем розміщення прожекторних батарей у роботі не приводжу по тій причині, що він достатньо детально прописаний у літературних та інтернет джерелах, та використовуватися у моделюванні освітлювальної установки, приведений у кваліфікаційній роботі не буде.

## **1.2 Вибір джерел світла для освітлювальної установки по їх світлотехнічних характеристиках**

Традиційні лампи розжарювання з їх широкою різноманітністю ще донедавна були наймасовішими джерелами світла. І хоча відбувається перехід на більш енергоефективні джерела, згадані лампи ще використовуються для освітлення стадіонів. Сучасні лампи включають технічні новинки, направлені на досягнення більшої ефективності та максимальної екологічної безпеки. Проте для освітлення шкільних спортивних майданчиків їх використання насамперед економічно недоцільне, зважаючи на основні недоліки: низька світлова віддача; невисока кольорова температура (2300÷2900 К); дуже малий 4% коефіцієнт корисної дії (ккд).

Люмінесцентні лампи також не витримують конкуренції із сучасними енергоефективними джерелами світла, хоча мають переваги по відношенню до ламп розжарювання (більше значення світлової віддачі, більший коефіцієнт



корисної дії 18-23 %, задовільні у сприйнятті світла спектри, менша собівартість). Їхні недоліки, такі як обмеження по потужності (потужність одної лампи не перевищує 150 Вт), складні схеми підключення, надмірно великі шуми при роботі ламп, акустичні та радіозавади, шкідливі для людини пульсації світлового потоку, наявність у джерелах шкідливих для оточуючого середовища речовини та, відповідно, необхідність ретельної утилізації, не дозволяють використовувати для систем освітлення спортивних майданчиків.

Говорячи про натрієві лампи високого тиску (ДНаТ), які є одними з найефективніших типів джерел світла через найбільш високу світлову віддачу серед усіх введених у експлуатацію газорозрядних ламп потужністю 100÷200 лм/Вт), незначне зниження світлового потоку при тривалій експлуатації, варто згадати і про їхні недоліки, а саме: надзвичайно жовтий спектр випромінювання та, відповідно, доволі низький індекс кольоропередачі ( $R_a=25$ ). Тому їх також не можна рекомендувати для створення штучного освітлення шкільних спортивних майданчиків.

Коротко зупинюся на характеристиках люмінесцентних ртутно-кварцових, або, як ще їх називають, дугових ртутних ламп (ДРЛ). У їх склад входить скляна колба, зсередини покрита люмінесцентною речовиною, кварцова трубка, розташована в колбі, яка наповнена ртутними парами високого тиску.

Під дією ультрафіолетового випромінювання, яке створюється в ртутно-кварцовій трубці, висвічується люмінофор. Через таке підведення енергії збудження люмінофора, у спектрі цих ламп переважає певний синюватий відтінок, що спотворює справжні, реальні кольори. Для компенсації такого недоліку до складу люмінофора вводять спеціальні компоненти, проте це лише частково виправляє кольоропередачу. І хоча згадана група джерел світла володіє певними перевагами: доволі значна світлова віддача, що сягає значень 55 лм/Вт; термін експлуатації 10 тисяч годин; компактність; невибагливість до умов зовнішнього середовища, окрім занижених температурних параметрів, для неї присутні суттєві недоліки. Основними з них є надмірна доля у спектрі випромінювання синьо-зеленого випромінювання, що призводить до незадовільного відтворення кольорів та унеможлиблює використання ламп для освітлення і, відповідно, спостереження за людьми, обов'язковість подачі

живлення з баластним дроселем, тривале запалювання при вмиканні (біля 7 хв.), можливість повторного включення після практично миттєвої перерви в електропостачанні тільки після охолодження (близько 10 хв.), великі пульсації світлового потоку (навіть вищі, чим для люмінесцентної лампи). Цей клас ламп також не буде використовуватись для поставленого у роботі завдання.

Оптимальним для досягнення найкращого результату по освітленню шкільного спортивного майданчику буде варіант вибору джерел випромінювання із ламп типу ДРІ або енергоекономних світлодіодних ламп. Так як у 3-му розділі буде приведено математична модель освітлення спортивного майданчику на прикладі школи с. Стегниківці Тернопільської області, у якій використовуватиметься світлодіодний прожектор, наводитимуться реальні характеристики його джерела світла, то більш детально зупинюся лише на характеристиках ламп ДРІ.

За конструкцією лампи ДРІ подібні з лампами ДРЛ, проте в їх пальник додатково вводяться строго дозовані порції спеціальних добавок – певних, визначених для корегування спектру свічення металів (натрію, талія, індію тощо), за рахунок чого значно збільшується світлова віддача (коливається в межах 70-95 лм/Вт, для спеціальних випадків можливі й вищі значення) за достатньо близької до природньої кольоровості випромінювання. Лампи можуть мати колби еліпсоїдної чи циліндричної форми. Усередині колби розташовується кварцовий або керамічний пальник. Термін їх служби сягає 8-10 тис. год.

Для сучасного типу ДРІ-випромінювачів застосовуються частіше керамічні пальники, у яких кращі параметри стійкості при можливій реакції із активною речовиною ламп, тому по мірі експлуатації пальники темніють не так сильно як кварцові. Однак кварцові також виробляються промисловістю, бо мають відносно невелику собівартість.

Особливою відмінністю сучасних ламп ДРІ є форма пальника у вигляді кулі. Це дозволяє понизити зменшення світловіддачі, робити стабільними певні параметри та збільшувати яскравість, так званого, „точкового” випромінювача.

Щоб вивести лампу ДРІ у робочий режим, потрібний пробій простору між електродами імпульсом високої напруги. Для звичайних схем включення

таких ламп, окрім індуктивного баластного дроселя, під'єднується ще імпульсний запалюючий пристрій (ІЗП).

Підбираючи домішки різні за складом для ламп ДРІ, регулюється в широкому діапазоні спектральний склад їх випромінювання, відтворення різних кольорів. Саме через це ДРІ знаходять широке застосування для різних видів архітектурного, спортивного, ландшафтного чи іншого освітлення.

Таблиця 1.1.

<b>Характеристики ламп ДРІ з добавками йодидів рідкоземельних елементів (фірма Osram), що застосовуються для спортивного освітлення</b>			
Характеристика	Тип лампи, потужність (Вт),		
	HQI 1000 W	HQI 2000 W	HQI 3500 W
Напруга мережі, В	220	380	380
Напруга на лампі, В	140	220	220
Робочий струм, А	7,7	10,3	18
Світловий потік, клм	80	170	325
Світлова віддача, лм/Вт	80	85	93
Кольорова температура, К	6000	6000	6000
Координаті кольору, x, y	0,32; 0,35	0,32; 0,35	0,32; 0,35
Індекс кольоропередачі	85	85	95
Строк служби, год.	2000	2000	1000
Положення свічення	Довільне	Довільне	Довільне

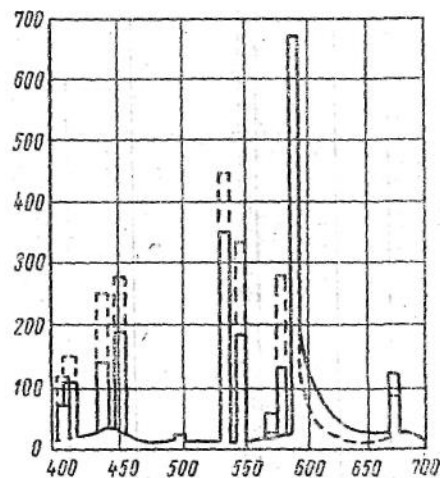
У таблиці 1.1 наведено основні світлотехнічні характеристики ламп ДРІ одного з провідних європейських виробників фірми Osram, яка серійно виготовляє джерела світла класу HQI з різним складом рідкоземельних елементів.

Відносне порівняння спектральних параметрів ламп ДРІ та стандартних джерел (наприклад  $D_{65}$ , який приймають як еталон), можливо проводити через розрахунок значень величин координат кольорів, які відповідають інтегралам:

$$\begin{aligned}
 E_R \equiv R &= \int_{400}^{700} F(\lambda) p(\lambda) \bar{r}_\lambda d\lambda \\
 E_G \equiv G &= \int_{400}^{700} F(\lambda) p(\lambda) \bar{g}_\lambda d\lambda \\
 E_B \equiv B &= \int_{400}^{700} F(\lambda) p(\lambda) \bar{b}_\lambda d\lambda
 \end{aligned}
 \tag{1.1}$$

де  $F(\lambda)$  – спектральна густина енергетичного потоку джерел світла, яке освітлює приймач випромінювання;  $p(\lambda)$  – спектральний коефіцієнт відбивання приймача;  $\bar{r}_\lambda$ ,  $\bar{g}_\lambda$ ,  $\bar{b}_\lambda$  – спектральні чутливості відповідно червоного, зеленого та синього елементів. Проводиться оцінка за 14 стандартних еталонах МКО різних по кольору з стандартними функціями спектрального коефіцієнта відбивання в залежності від довжини хвилі. Така методика проведення розрахунків підтверджує переваги ламп ДРІ.

Значення спектрального енергетичного потоку у відносних одиницях



Значення довжини хвилі,  
нм.

Рис. 4. Спектр свічення лампи HQI з добавками NaI, Tl, InI<sub>3</sub> (фірма Osram)

Для прикладу на рисунку 4 наведено відносний спектральний розподіл енергетичного потоку випромінювання лампи ДРІ з різними добавками йодидів металів.

Економічний аналіз показує, що використання цих джерел для систем освітлення спортивних площадок може давати зменшення затрат на освітлення на 18-20 % та зниження початкового кошторису до 27%.

### 1.3. Аналіз фотометричних параметрів прожекторів з різними типами відбивачів

Для перерозподілу світлового потоку в світловому приладі (СП) використовують: направлене відбивання світла дзеркальними відбивачами параболоїдної (рис. 5 а), еліпсоїдної (рис. 5 б), або довільної (рис. 5 в) форми; направлене пропускання світла френелівськими (дисковими або циліндровими) лінзами (рис. 5 г), асферичними або конденсорними лінзами (рис. 5 д) або призматичними пристроями (рис. 5 е) дифузне і направлено-розсіяне відбивання світла дифузними, емальованими і матованими відбивачами (рис. 5 ж); дифузне і направлено-розсіяне пропускання світла молочними, опаловими або матованими розсіювачами (рис. 5 е). Основні світлотехнічні характеристики СП – розподіл сили світла, яскравості і освітленості, а також коефіцієнт корисної дії, що визначається відношенням корисно використаного світлового потоку до повного світлового потоку джерела випромінювання.

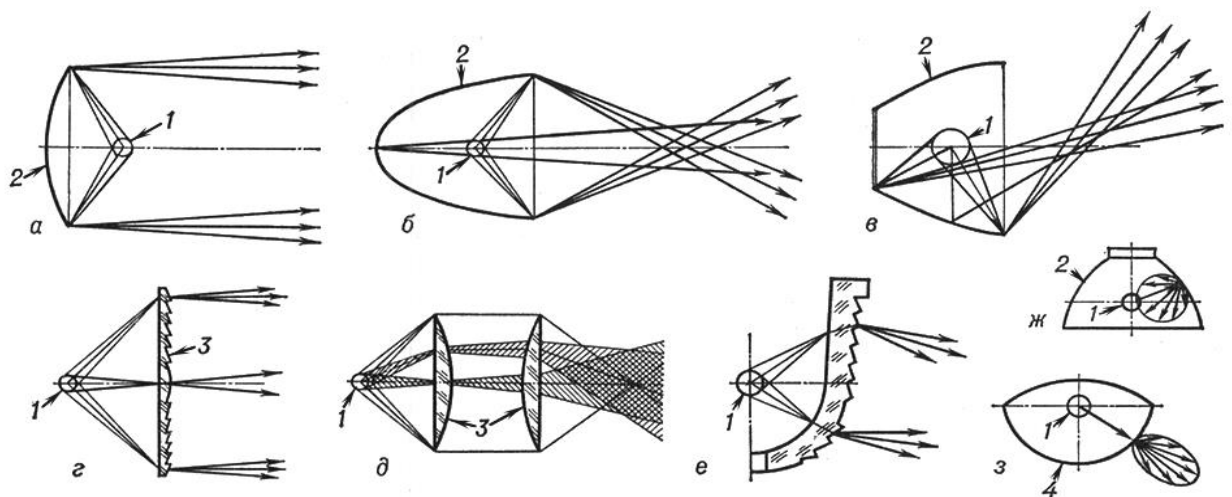


Рис. 5. Спрямування світлового потоку різними за класом відбивачами, розсіювачами



Рис. 6. Прожектор з параболічним відбивачем

Прожектори з параболічним відбивачем (рис. 6) мають конічну форму світлового пучка і невеликий кут розсіювання найчастіше встановлюються на щоглах, тобто на значній віддалі від освітлюваної поверхні поля. Це дозволяє при відповідних кутах нахилу здійснити раціональну компоновку еліптичних, світлових плям на поле і досягти високого коефіцієнта використання освітлюваної установки. Як джерело світла в таких прожекторах застосовуються лампи розжарювання (звичайні або прожекторні) і лампи ДРІ з відносно короткою дугою розряду некритичні до положення горіння.

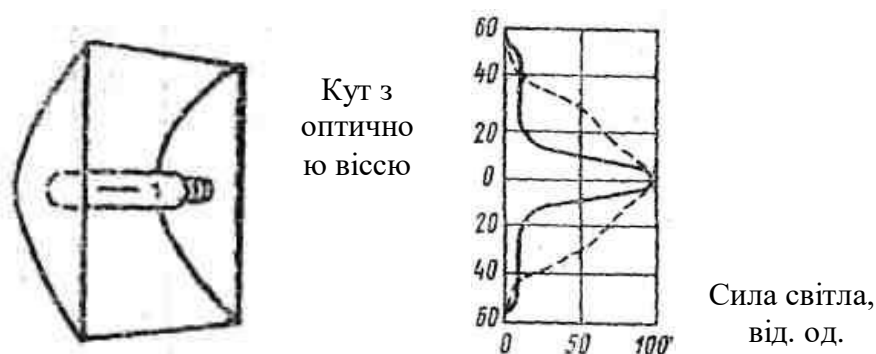
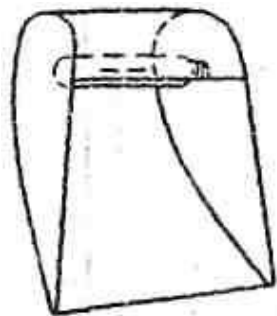


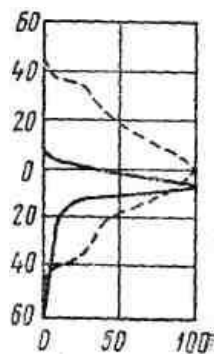
Рис. 7. Прожектор з параболо-циліндричним відбивачем

При розміщенні освітлювальних приладів вздовж довгих сторін майданчика найбільш доцільною формою їх світлового пучка є „віялоподібна”, з великим кутом розсіювання в горизонтальній площині і малим – у вертикальній. Похилий переріз пучка, форма світлової плями на горизонтальній поверхні мають вигляд прямокутника. При цьому забезпечується найбільш оптимальний перерозподіл світлового потоку по прямокутній поверхні спортивного майданчика. Такий характер світлорозподілу досягається в прожекторах з параболо-циліндричними відбивачами (рис. 7) на фокальній осі яких розташовані джерела світла з лінійним тілом свічення (лампи ДРІ з довгою дугою і т. д.).

Різновидом таких освітлювальних, приладів є прожектори з несиметричною оптикою і закранованою лампою для зниження засліплюючої дії (рис. 8). Верхній елемент відбивача являє собою частину еліптичного циліндра, а нижній, примикає до нього, має форму параболічного циліндра. Лампа розташована на загальній фокальній осі верхнього та нижнього елементів. Крива сили світла в вертикальній площині асиметрична та різко обмежена зверху в напрямках, близьких до оптичної осі.



Кут з  
оптично  
ю віссю



Сила світла,  
від. од.

Рис. 8. Прожектор з несиметричною оптикою і закранованою лампою

## 1.4 Висновки до розділу

1. Аналіз систем освітлення шкільних спортивних майданчиків м. Тернополя та району показав, що у 87% вони взагалі відсутні. Тому розробка, моделювання, ввід в експлуатацію освітлювальних установок для таких спортивних об'єктів є актуальним завданням сьогодення.
2. Для освітлювальних установок спортивних площадок варто використовувати найбільш енергоефективні сучасні джерела світла, а саме дугорозрядні імпульсні лампи (ДРІ) або світлодіодні. Під час їх вибору необхідно зважати на геометричні розміри майданчиків, рекомендовану висоту встановлення прожекторів на опорах, добирати відповідний спектральний склад випромінювання ламп, їх потужність і на основі такого аналізу надавати перевагу певному типу джерел випромінювання.
3. Найбільш раціональними в просторовому розподілі світлового потоку по нормованих площинах невеликих за розмірами шкільних спортивних майданчиків є світлові прилади з кутами розсіювання 15-25 та несиметричною оптикою. Вони створюють достатні рівні освітленості поряд з нормованими показниками рівномірності освітлення різних площин спортивного майданчика, мінімізують засліплюючу дію.



## 2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Методики попереднього розрахунку освітлювальної установки

Сучасні методи, які використовують для розрахунків освітлювальних установок, можна розділити на два класи: попередні наближені методи розрахунку значень та рівнів освітленості та остаточні уточнені. З точки зору використання математичного апарату перша група (наближеного попереднього розрахунку) більш проста. До неї належать метод використання світлового потоку або, як ще його називають, метод коефіцієнта використання світлового потоку, метод використання питомої потужності, метод графіків Гурова, Прохорова, подібні. Друга група уточненого розрахунку значень та рівнів освітленості потребує розв'язку складніших математичних закономірностей, практично потребує обов'язкового використання ЕОМ. Реально методи другої групи базуються на точковому методі.

Метод використання світлового потоку, який буде використаний при моделюванні у роботі, призначається для визначення середньозначення освітленості. У ньому мінімум освітленості враховується приблизно та без дослідження точок, де вона створена системою освітлення. В загальному середню освітленість можна розрахувати на довільно розташованій поверхні, проте найчастіше проводиться розрахунок освітленості для горизонтальної площини.

Загальну послідовність методу використання коефіцієнта світлового потоку наведу на типовому прикладі. Нехай для освітлювального простору (наприклад відкритого спортивного майданчика або довільного приміщення) підбирається  $N$  світлових приладів із  $n$  лампами в кожному. Світловий потік однієї лампи рівний  $\Phi$ . Відповідно загальний світловий потік, що випромінюється всіма світловими приладами дорівнює  $N \cdot n \cdot \Phi$ . Проте, не вся світлова енергія попадає на освітлювану поверхню (тобто на горизонтальну площину майданчика чи іншу горизонтальну площину підняту на рівень  $h_p$  від основної), тому що частково розсіюється в відбивачі, певна частина спрямовується поза визначеною освітлювальною територією. Потік, що попадає на освітлювану поверхню, відносно загального потоку називається коефіцієнтом

використання і позначають  $U$ . Отже за корисний потік вважається добуток  $Nn\Phi U$ .

Коли такий потік розподіляється по площині, то створюватиме на ній середню освітленість:

$$E_c = N \cdot n \cdot \Phi \cdot U / S \quad (2.1)$$

Частіше розрахунок проводять по мінімальній освітленості, котра обов'язково є меншою за середню. Підставивши коефіцієнт мінімальної освітленості  $z$  можна отримати:

$$z = E_{cp} / E_{min}$$
$$E_{min} = E_{cp} / z = N \cdot n \cdot \Phi \cdot U / (S z) \quad (2.2)$$

Так як нормована освітленість повинна бути забезпечена протягом усього часу роботи освітлювальної установки, потрібно врахувати коефіцієнт запасу  $k$ , ввівши його у розрахункову формулу 2.2:

$$E = N \cdot n \cdot \Phi \cdot U / (S z k) \quad (2.3)$$

З формули 2.3 можна просто визначити світловий потік або кількість світильників. Для приміщень коефіцієнт  $z$  залежить від їх розмірів і форми коефіцієнта відбивання його поверхонь, характеристик світильника і визначається відношенням:

$$z = L / h_p$$

де  $L$  – відносна відстань між світильниками,  $h_p$  – розрахункова висота.

Із збільшенням  $L$  коефіцієнт  $z$  починає швидко зростати, що і обумовлює вигідність великих значень  $L$ .

В області оптимальних значень коефіцієнт  $z$  відносно невеликий і дорівнює  $1,1 \div 1,15$ .

Для розрахунків середньої освітленості коефіцієнтом  $z$  нехтують (також в освітлювальних установках відбитого світла, при добре відбиваючих поверхнях стін та стелі), тобто, приймають значення близьке до 1.

Коефіцієнт використання  $k$ :

- прямо пропорційний ККД світлових приладів;
- залежить від форми кривої сили світла;
- зростає з збільшенням концентрації потоку (у прожекторах та світильниках прожекторного типу);
- зростає із збільшенням розмірів освітлювальної території;
- зростає із зменшенням розрахункової висоти встановлення світлових приладів.

Для закритого типу об'єктів площу приміщення, його форму та висоту розраховують єдиною загальною характеристикою – індексом приміщення  $i$ , що обчислюється по формулі:

$$i = S/(h(A+B)) \quad (2.4)$$

де  $A$  і  $B$  – сторони приміщення;

$S=AB$  – площа приміщення;

$h$  – висота.

При певних спрощеннях у розрахунках вважається:

$$i = 0,47\sqrt{S/h} \quad (2.5)$$

Коефіцієнт відбивання для приміщень оцінюється суб'єктивно, тому точні його значення невідомі, а у таблицях (чи пакетах прикладних програм розрахунків, моделювання освітленості, наприклад DiaLux) приводяться усереднені значення 70-50-30-10% для стель і стін, 30-10% для підлоги. Вони позначаються відповідно як  $\rho_n, \rho_c, \rho_p$ .

Проектування ОУ можливе за прямими чи оберненими методиками. Здійснення прямого розрахунку виконується у такій послідовності:

- 1) Для приміщень розраховується його індекс за формулою (2.4);
- 2) За таблицями знаходять (вибирають значення, якщо у середовищі пакетів прикладних програм, наприклад DiaLux) коефіцієнт використання;
- 3) За формулою (2.3) розраховують освітленість на розрахунковій площині.

При оберненому розрахунку порядок змінюється:

- 1) Для приміщень розраховується його індекс за формулою (2.4);
- 2) По таблицях знаходять (чи вибирають у, наприклад DiaLux) коефіцієнт використання;
- 3) Із формули (2.3) розраховують світловий потік  $\Phi$  для однієї лампи;
- 4) Підбирають відповідне джерело світла (світловий прилад);
- 5) Розраховують фактичну освітленість за формулою (2.3).

## **2.2 Переваги точкового методу при моделюванні освітлювальних установок**

Точковий метод в цілому призначений для визначення освітленості в наперед заданих точках, тому є найбільш придатним для точного розрахунку, наприклад, мінімальної освітленості, яка регламентується у завданнях для переважної більшості освітлюваних об'єктів. Вдосконаливши його, звичайно, можна розраховувати й середню освітленість нормованих поверхонь, як у методі використання світлового потоку. Даний метод за своїм принципом дозволяє визначати не лише освітленість точки спрямованим світлом, але й додаткову освітленість, що утворюється відбитим світловим потоком, щоправда, без додаткового математичного уточнення її враховують приблизно.

У методиці точкового методу менше припущень, ніж у методі коефіцієнта використання світлового потоку, проте значення сили світла в конкретних напрямках часто мають значні випадкові похибки, тому їх складніше визначати. Точковий метод більш точним, ніж метод коефіцієнта використання світлового потоку. На сучасному етапі за використанням математичного апарату розрахунку він лиш дещо об'ємніший за метод використання світлового потоку. У практичних розрахунках згадані методи використовуються рівноцінно.

При проектуванні точковий метод розрахунку рекомендується у випадках при:

- 1) відсутності необхідності у врахуванні відбитої складової освітленості;
- 2) не жорстких вимогах до рівномірності розподілу освітленості по освітлювальній території;
- 3) визначенні освітленості довільних негоризонтальних поверхонь.

За відсутності зазначених умов варто користуватися методом використання світлового потоку, так як він простіший для математичного розрахунку.

Застосування точкового методу доцільне для установок з підвищеною нерівномірністю освітлення (локалізоване освітлення світильниками прямого світла, зовнішнє освітлення, що проектується на мінімальну освітленість, аварійне освітлення тощо), а також для розрахунку освітленості негоризонтальних поверхонь, при використанні світлових приладів напрямленого світла.

Загальне рівномірне освітлення спортивних майданчиків виконане світильниками напрямленого світла можливо розраховувати довільним методом. Однак, у найбільш відповідальних випадках, перевага надається саме точковому методу, тому що це дозволяє проаналізувати розподіл освітленості по різних площинах освітлювального об'єкта.

При виборі світлових приладів з концентрованим світлорозподілом звичайно перевага належить точковому методу. У такому випадку відносно невелика зміна розташування світильників приводить до різкої зміни значень освітленості на окремих ділянках. Виявляються вони тільки при розрахунку із застосуванням точковому методу.

Проте, є варіанти, коли жоден з методів задовільного результату не дає. Для прикладу, моделювання локалізованого освітлення чи освітлення негоризонтальних поверхонь у приміщеннях, що використовують світильники непрямого світла. У таких випадках точковим методом визначають пряму складову, за методом коефіцієнта використання світлового потоку розраховується додаткова відбита складова. Звертається увага й на те, що графіки Прохорова, Гурова, таблиці питомої потужності, які є спрощеними

формами методу використання світлового потоку знаходять широке застосування в практиці моделювання освітлювальних установок.

У більшості випадків точковий метод використовують для розрахунку нерівномірного освітлення: загального локалізованого, місцевого, похилих поверхонь, зовнішнього. Необхідний світловий потік освітлювальної установки визначають виходячи з умови, що в довільній точці розрахункової освітлювальної поверхні освітленість повинна бути не меншою нормованої, навіть наприкінці терміну служби джерела світла.

Освітленість у контрольній точці робочої поверхні розраховують по формулі :

$$E_A = \frac{\hat{\Phi}_v}{1000} \cdot \frac{\mu}{k} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} e_i, \quad (2.6)$$

де  $\hat{\Phi}_v$  – фактичний світловий потік лампи, лм;

$\mu$  – коефіцієнт додаткової освітленості [1, 7];

$k$  – коефіцієнт запасу [1, 7];

$\sum_{i=1}^{i=n} e_i$  – умовна сума освітленостей розрахункової точки, яка створюється

$n$  світильниками, кожен з яких укомплектований умовною лампою із світловим умовним потоком 1000 лм (визначається в люксах).

Сумарна умовна освітленість, що розраховується в точці, може бути визначена як сума освітленостей від найближчих світильників або по довідкових кривих просторового світлового розподілу обраних світильників, чи по кривих просторових ізолукс.

За кривими світлорозподілу:

$$\sum_{i=1}^{i=n} e_i = \frac{I_{\alpha 1} \cdot \cos^3 \alpha_1}{h_{p1}^2} + \frac{I_{\alpha 2} \cdot \cos^3 \alpha_2}{h_{p2}^2} + \dots + \frac{I_{\alpha n} \cdot \cos^3 \alpha_n}{h_{pn}^2}, \quad (2.7)$$

де  $\alpha$  – кут між віссю світильника та напрямком до розрахункової точки;

$I_\alpha$  – сила світла довільного світильника, яка визначається за кривими світлорозподілу, кд.

При прямому розрахунку по формулі (2.8) визначають світловий потік лампи, коли прирівнюють освітленість до нормативного значення:

$$\hat{O}_{\dot{E}} = \frac{1000E_{\min}K}{\mu \sum_{i=1}^{i=n} e_i}, \quad (2.8)$$

Точковим методом розрахунок освітлювальної установки проводиться по наступній послідовності:

- шукають мінімум нормативної освітленості;
- обирають тип джерела випромінювання та тип світильника, для приміщення розраховують розміщення світильників;
- намічають контрольні точки на плані приміщення при визначених місцях світильників, в яких освітленість приймає найменше значення;
- у кожній контрольній точці знаходять умовну освітленість і точки, де найменша умовна освітленість, обирають за розрахункові.

Обирають коефіцієнти запасу та додаткової освітленості за довідниковими таблицями;

- по формулі (2.8) розраховують світловий потік лампи;
- за світловим потоком по довідниковим таблицям [1, 7, 9] обирають потрібну реальну лампу, у якої світловий потік може відрізнятись від розрахункового приблизно на -10 чи +20 %, та визначають її потужність;
- розраховують для всієї освітлювальної установки електричну потужність.

У сумарну умовну освітленість включають освітленості від найближчих світильників. Віддаленими світильниками вважають такі, що створюють у розрахунковій точці освітленість менше 5 % освітленості від найближчих світильників [3, 7].

При обчисленні світлового потоку ламп є важливим вірно обрати розрахункову точку. За таку на освітлювальній площині, в межах якої повинна забезпечуватися нормована освітленість, обирають точку освітленість якої є мінімальна. Цю точку рекомендують обирати по центру майданчика чи

посередині однієї сторони майданчика, в загальному випадку того простору, який обмежений найближчими чотирма світловими приладами.

Якщо розміри світильника є співмірними з відстанню до розрахункової точки, то вищенаведений метод розрахунку використовувати не можна. Для спрощення розрахунків освітленості від світлових ліній положення розрахункової точки вибирається так, щоб її проекція на площину розміщення світлової лінії співпадала з проекцією кінця світлової лінії на розрахункову площину.

При довжині лампи меншій за 0,2 розміру розрахункової висоти, лінійні джерела замінюються на точкові. Освітлювальна установка із світловими лініями розраховується по формулі (2.9)

$$\hat{O}_{\dot{E}} = \frac{1000 E_{\min} k h_p}{\mu \sum_{i=1}^{i=n} e_i}, \quad (2.9)$$

де  $\sum_{i=1}^{i=n} e_i$  – умовна сума відносних освітленостей у розрахунковій точці,

розрахованих за графіками лінійних ізолюкс [1, 7, 9].

Коли точка знаходиться навпроти частини ламп, що світить, то лінію розбивають на дві частини так, щоб точка була навпроти кінця обох частин. Освітленість у точці визначають як суму освітленостей від обох частин лінії. Коли точка перебуває за межами лінії, що світить, то лінію продовжують так, щоб точка виявилася навпроти її кінця. Умовну освітленість у точці знаходять як різницю освітленостей від лінії з доданою ділянкою і від доданої ділянки.

Якщо відстань між світильниками в ряду менше половини розрахункової висоти, то ряд варто розглядати як неперервний, тобто потік розраховують без урахування розривів. При великих розривах освітленість у контрольній точці обчислюють як суму всіх неперервних ділянок світильників.



## **2.3 Проектно-конструкторська послідовність моделювання систем прожекторного освітлення**

Горизонтальна освітленість площини ( $E_T$ ) – один із самих важливих параметрів, тому що на горизонтальній площині фокусується основна доля поля зору перебуваючих на майданчику та глядачів.

Середнє значення горизонтальної освітленості площини ігрового майданчика дозволяє орієнтувати умови адаптації ока та охарактеризовує зоровий фон, на якому спостерігаються гравці та спортивні снаряди (м'ячі, тощо).

Освітленість у вертикальній площині ( $E_V$ ) важлива для спостереження вертикальних об'єктів. Скажімо, вертикальною площиною може бути поданий гравець (з урахуванням відповідних кутів до лінії огляду спостерігача). Щоб гарантувати оптимальний огляд і розпізнавання гравців з усіх напрямів, потрібне особливе освітлення по-різному орієнтованих вертикальних площин.

Окрім цього, на вертикальних площинах освітленість повинна забезпечувати бачення у довільний момент часу рухомого над майданчиком спортивного снаряду (зокрема, м'яча). Вирішальний вплив вертикальна освітленість має на якість фото- або відеозображення.

У вертикальних площинах освітленість використовують, коли моделюють спрямування світла на тіло гравців з усіх боків (див. рис. 2.1).



Рис. 2.1 – Моделювання спостереження гравця у вертикальних площинах

Рівномірне освітлення вертикальних та горизонтальної площин дозволяє уникати небажаних різких змін по яскравості в полі зору гравців та глядачів.

Нерівномірний розподіл освітленості понижує видимість ігрових предметів чи гравців у певних позиціях на спортплощадці. Цю величину найчастіше виражають відношенням мінімальної до максимальної освітленостей ( $E_{\text{мін}}/E_{\text{макс}}$ ), середньої до максимальної ( $E_{\text{сер}}/E_{\text{макс}}$ ) чи мінімальної до середньої ( $E_{\text{мін}}/E_{\text{сер}}$ ).

Виходячи із стандартів та нормативних значень освітленості шкільної спортивної площадки, для прикладу розрахунку в кваліфікаційній роботі поставлено завдання розробити модель освітлювальної установки, що створювала б наступні значення освітленості у визначених площинах спортивного майданчика:

$$E_{\text{гор}}=200 \div 300 \text{ лк.};$$

$$E_{\text{верт}}=75 \div 100 \text{ лк.}$$

Для виконання поставленого завдання розрахунку прожекторної освітлювальної установки спортивного майданчика необхідно визначити:

- 1) число прожекторів, які підлягають встановленню для створення на нормованих освітлюваних площинах спортивного майданчика заданої освітленості;
- б) точні координати місця встановлення опор для розташування прожекторів і конкретне розташування прожекторів на них;
- в) висоту встановлення прожекторів над горизонтальною освітлюваною поверхнею;
- г) кути нахилу прожекторів у вертикальній площині;
- д) кути повороту прожекторів в горизонтальній площині.

При розробці проектів освітлення з груповим, зосередженим розташуванням прожекторів рекомендується застосовувати наступний метод. Даний розрахунок заснований на використанні кривих однакової освітленості від одного прожектора, проте ці криві служать тільки проміжною ланкою для побудови графіків однакової освітленості від груп прожекторів. При цьому під групою прожекторів розуміють ряд прожекторів встановлених на одній і тій самій прожекторній опорі, на однаковій висоті від рівня освітлюваної поверхні і мають один і той самий кут нахилу у вертикальній площині. Більше того, прожекторна щогла з всіма встановленими на ній прожекторами розглядається далі як єдиний потужний „світильник”. Залежно від числа встановлюваних на щоглі прожекторів і їх параметрів встановлення такий „світильник” матиме певний розподіл світлового потоку і буде створювати на території навколо щогли певний розподіл освітленості.

При орієнтовних розрахунках звичайно можна користуватися описаними раніше методами світлового потоку чи питомої потужності.

Коефіцієнт запасу освітленості при розрахунках прожекторного освітлення з урахуванням підвищеного впливу запилення відбивача та захисного скла прожектора на його світлотехнічні характеристики рекомендується приймати рівним 1,5.

Виконання розрахунку прожекторного освітлення починається із задання значень нормованої освітленості в горизонтальній площині, як основної характеристики. У вертикальних площинах розрахунок необхідних освітленостей

виконується лише тоді, коли ця характеристика матиме важливе значення, для наприкладу, при проведенні фото- чи відеофіксації шкільних змагань, тощо.

Коли обираються місця розміщення прожекторів, кути нахилу їх, кути повороту в горизонтальній площині варто прогнозувати самий ймовірний напрямок лінії зору учасників спортивних міроприємств та запобігати можливості їх засліплення.

Для обмеження засліплення від прожекторів по нормативним вимогам відношення осьової сили світла прожектора до квадрату висоти установки його над рівнем ока спостерігача не повинно перевищувати значення 300. Згідно з цим мінімально допустима висота установки прожекторів визначається з рівняння:

$$H = \sqrt{\frac{I_{\text{макс}}}{300}} \quad (2.10)$$

Або

$$H = 0.058 \cdot \sqrt{I_{\text{макс}}} \quad (2.11)$$

Мінімально допустима висота установки прожекторів регламентується за умови створення на освітлюваній території освітленості, що відповідає нормам. Якщо ж на території створюється більша освітленість, ніж цього потребують норми, то можна, зберігаючи ті ж умови видимості, дещо скоротити мінімально допустиму висоту установки прожекторів.

Якщо понижати висоту встановлення прожекторів до значення  $H_1$ , освітленість, що у таких випадках повинна бути створена, за дослідженнями В. В. Мешкова, можливо для практики з достатньою точністю визначатися по формулі:

$$E \geq \frac{E_n}{H_1} \sqrt{3.33 \cdot 10^{-3} I_{\text{макс}}} \quad (2.12)$$

де  $E_n$  – освітленість, яка визначається замовником, лк;  $H_1$  – допустиме значення висоти розташування прожекторів, м.

Остаточний вибір висоти установки прожекторів проводиться комплексно, причому, крім фактору засліпленості, враховуються ще й місцеві умови, наприклад наявність висотних об'єктів біля майданчиків, на яких можна встановити прожектори, а також умови виникнення тіней і необхідні співвідношення вертикальної та горизонтальної освітленості. Слід мати на увазі, що при збільшенні висоти установки прожекторів освітленість збільшується в горизонтальній площині і зменшується у вертикальній.

Звичайно, не варто нехтувати й економічною стороною такого вибору висоти прожекторних опор. Із збільшенням висоти собівартість прожекторних опор різко збільшується.

Коли міняти кут нахилу прожектора, кут між горизонтальною лінією та напрямком оптичної осі прожектора, суттєво змінюються форма, площа світлової плями, освітленість на цій площі.

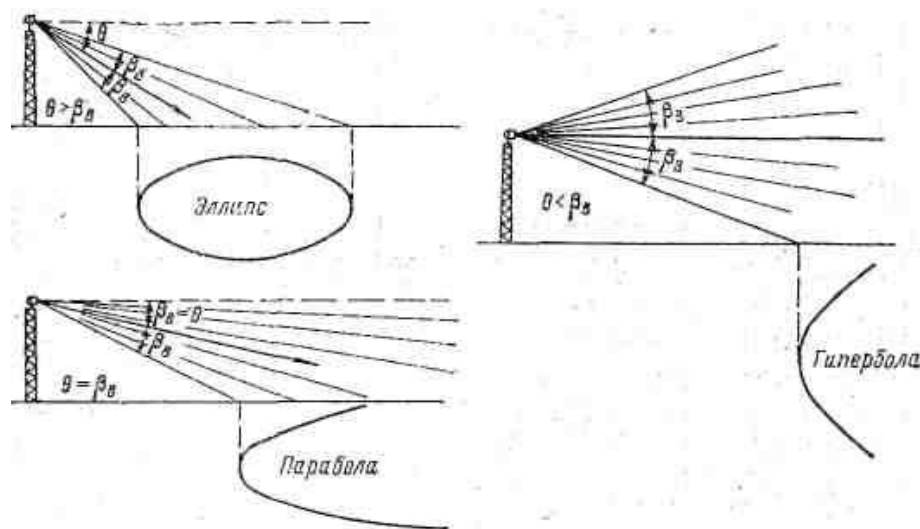


Рис. 2.2 Залежність зміни форми світлової плями від кута орієнтації прожектора

Коли кут нахилу прожектора  $\theta$ , більший за половину кута розсіяння по вертикальній площині ( $\theta > \beta_v$ ), світлова пляма має еліптичну форму (рис. 2.2). Коли кути однакові  $\theta$  і  $\beta_v$  – параболічну, а коли  $\theta < \beta_v$  – її форма гіперболічна. У першому випадку коефіцієнт використання світлового потоку матиме найбільше

значення, тому що весь світловий потік прожектора спрямовується на освітлювану поверхню в межах кута розсіювання. Щоправда, з такого випадку не варто робити заключення про непридатність використання невеликих кутів нахилу, тому що в певних випадках, коли потрібне освітлення об'єктів, що далеко розташовані, чи коли потреба створення освітленості вертикальної площини, саме це рішення буде раціонально потрібним.

## 2.4 Конструкторські особливості встановлення світлових приладів

Зазвичай, прожектори розташовуються на спеціально призначених прожекторних майданчиках, які передбачаються на опорах (див. рис. 2.3).



Рисунок 2.3

### Варіанти майданчиків для прожекторів

Для зображеного випадку утворення потрібної освітленості забезпечується прожекторним освітленням із кожної опори чвертини спортивної площадки, яка суміжна з прожекторною щоглою.

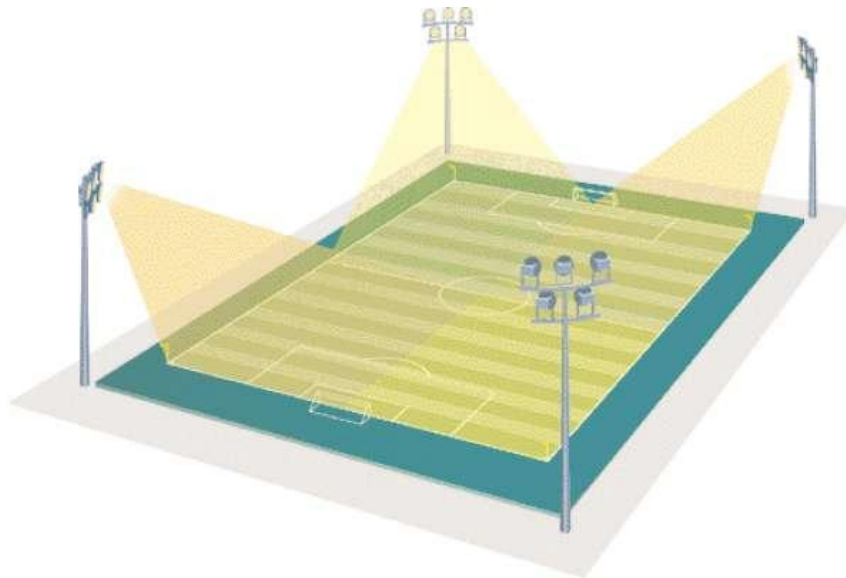


Рисунок 2.4

Напрямки світлового потоку прожекторів для всіх чотирьох прожекторних щогл

Щогли (опори) по кутах варто розміщувати поза межами можливого спостереження учасників занять на майданчику та поблизу до дотичних крайніх сторін майданчика. Розміщувати кутові щогли потрібно під кутом не менше 10 градусів за вузкою стороною майданчика і не менше 5 градусів до паралельних ліній до довших сторін.

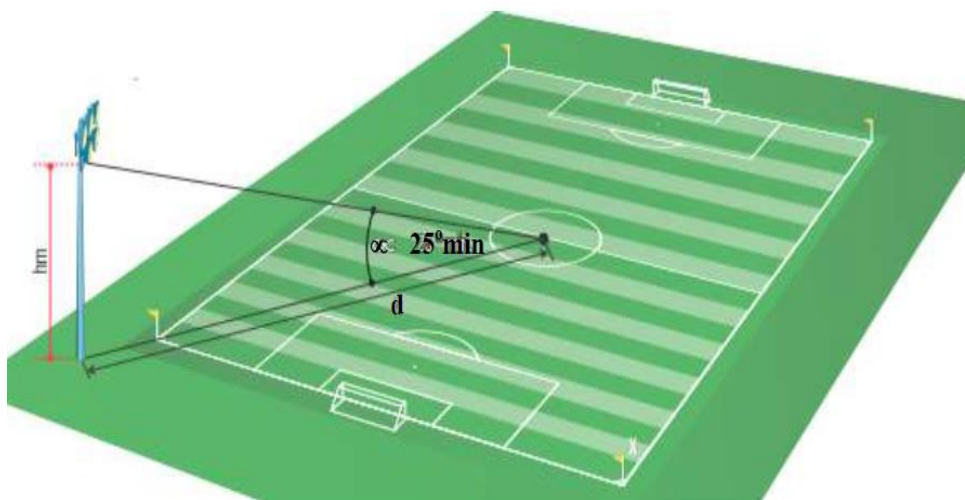


Рисунок 2.5

Прожекторна площадка на мінімальній висоті встановлення

При бокових системах встановлення світильників є можливість використовувати нижчі опори, ніж при кутовому їх розташуванні.

Використовуються найчастіше конфігурації із 4, 6 та 8-ми опор (щогл).

Бокові освітлювальні установки 4-х опор забезпечують кращі умови видимості глядачам у порівнянні із тими системами освітлення, коли 4 щогли виставляються у кута майданчика. Контролювати, так зване, заливаюче світло із системи 4-х щогл значно простіше, аніж, коли в освітлювальній установці 6 чи 8 місць для розташування прожекторів. У цьому незаперечна їх перевага.

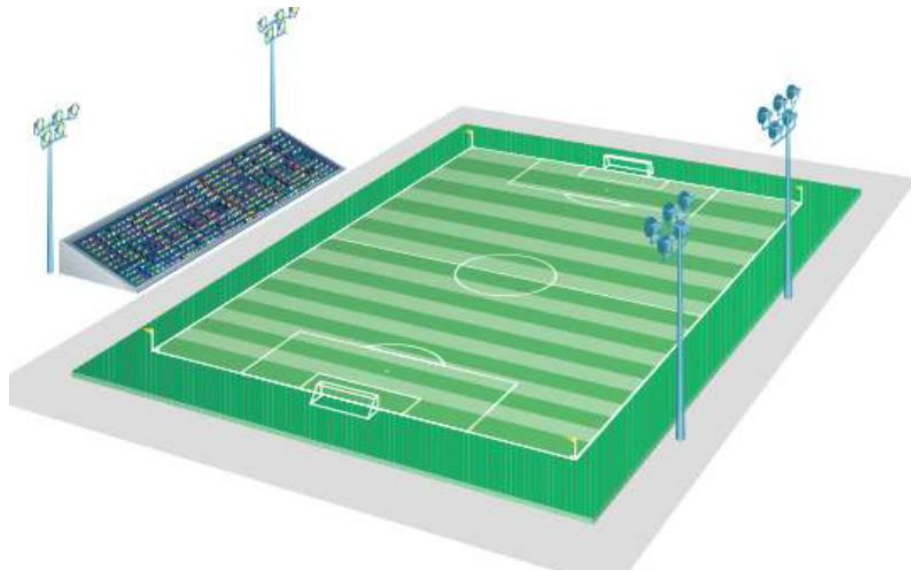


Рисунок 2.6  
Система 4-х щогл

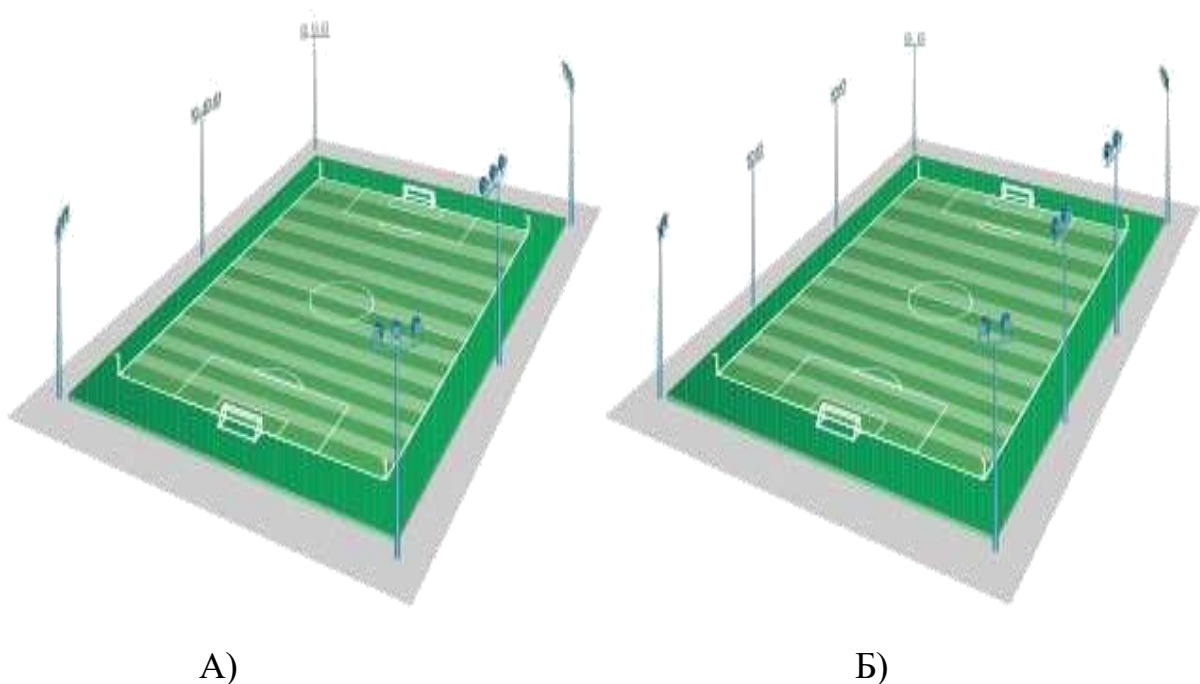


Рисунок 2.7



## 6-и (А) та 8-и (Б) щоглові установки

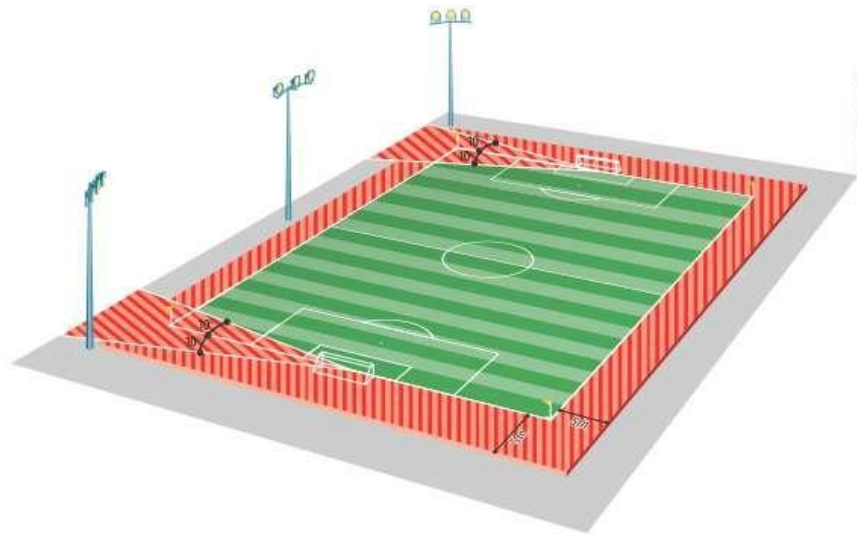


Рисунок 2.9

Допустиме розташування бічних щогл

Коли потрібно мінімізувати ефект заливаючого світла для пониженої висоти використовують шести чи восьми опорні системи освітлення. Припустимо розташовувати щогли поза трибун для глядачів, коли такі встановлені біля майданчиків. Опори для даного випадку розміщують під кутами не менше 10 градусів від умовної лінії воріт, що забезпечує воротарям необхідний огляд у напрямку до кутів спортивного майданчика.

### **2.5 Світлотехнічні особливості LED прожекторів і світильників**

Світлодіодний прожектор – оптимальний варіант сучасного освітлення. Світлодіодні (LED) технології мають незаперечні переваги, порівняно з загальновідомими джерелами освітлення. Використання світлодіодів дозволило значно скоротити енерговитрати, що важливо при нинішніх цінах на електроенергію. Один із пріоритетних напрямків використання світлодіодів – LED-прожектор.

Висока якість освітлення забезпечується прожекторами на основі енергозберігаючих світлодіодів. Вони можуть в залежності від своєї потужності застосовуватися в інтер'єрі та зовні приміщень. Зовнішнє освітлення краще

розкриває переваги LED прожектора, тому такий варіант їх використання найбільш значимий.

В основному це:

- освітлення парковок;
- зовнішнє освітлення будівель;
- освітлення вулиць;
- освітлення ландшафтів;
- освітлення паркової зони;
- рекламне освітлення;
- освітлення на стадіонах і будівельних майданчиках;
- освітлення спортивних залів для ігрових видів спорту.

Зупинюся на основних перевагах LED-прожекторів, у яких джерелами світла є світлодіоди.

Використання світлодіодів дає ряд особливостей прожекторам, у порівнянні з аналогічними пристроями, зокрема галогенними, лампами типу ДНАТ та ДРІ.

- Максимальний термін служби 20 000 годин.
- Світловий потік, при номінальній потужності в 30 Вт становить 2400 лм.
- Робота при різних температурах; стабільна робота при перепадах температури.

Якісний світлодіодний прожектор (LED-прожектор) володіє характеристиками, які дозволяють експлуатувати його в складних умовах. Алюмінієвий корпус володіє пристойним запасом міцності, і досить стійкий до можливих пошкоджень. Світлодіоди, що застосовуються у таких світлових приладах, відмінно працюють в будь-який час року, незалежно від погодних умов, а покриття корпусу відрізняється стійкістю до ультрафіолету, і не втрачає свій зовнішній вигляд протягом всього терміну експлуатації.

Під час роботи прожектора відбувається активне виділення тепла, тому в конструкції передбачаються тепловідвідні елементи, які прискорено понижають температуру робочого елемента. При використанні в інтер'єрі приміщення

світлодіодний прожектор є абсолютно безпечним, а, тим більше, при освітленні вулиць чи паркових зон, які прилягають до спортивного майданчика.

Енергоефективність прожекторів знаходиться на високому рівні. Витрата електроенергії в них на кілька разів менша, порівняно з широко вживаними галогенними аналогами. Незважаючи на те, що на якісний світлодіодний прожектор ціна дещо вища, це повністю окупається в процесі використання за рахунок набагато більшого терміну служби. Це особливо актуально, коли враховувати трудомісткість заміни світлових елементів.

Необхідно звернути увагу перед плануванням використання LED-прожекторів на область, у якій вони будуть застосовуватися, маркування рівня захисту:

- 1) IP 44 – прожектор для освітлення у приміщенні;
- 2) IP 65 – зовнішнє освітлення.

Всі дані по рівню міцності виробу вказуються в його технічному паспорті. Також слід враховувати кут розсіювання світлового потоку прожектора, форму корпусу і додаткове обладнання, що використовується в процесі експлуатації. Великою популярністю користується варіант з встановленим датчиком руху. Дана комплектація максимально зручна для приватного використання, і значно економить електроенергію.

Визначивши максимально відповідний за параметрами світлодіодний прожектор, купити який в даний час не складає особливих труднощів, слід вивчити асортимент і цінову політику компаній пропонують сучасні елементи освітлення. На різних сайтах представлений широкий асортимент сучасних прожекторів, з різними характеристиками, тому вибрати потрібний буде доволі легко.

Світлодіоди служать джерелом світла для світлодіодних світильників. Важливою і основною перевагою світлодіодних ламп є низьке споживання енергії, коли їх порівнювати з лампами, які використовують інші джерела енергії. Значно більший у них термін експлуатації. Як додаткова перевага світлодіодних джерел – це також простота їх встановлення. Від типу світильника залежить

термін експлуатації LED-лампи, яка в них експлуатується. Для корпусних світлодіодів – 25 тисяч годин; для SMD світлодіодів – до 100 тисяч годин.

У світлотехнічній частині електротехніки світлодіодні лампи вважають найбільш перспективним напрямком розвитку ринків їх збуту та використання. Для офісних та промислових світильників їх все частіше використовують. Експлуатуються LED-лампи на складах, у промислових приміщеннях, у театрах, магазинах та торгових центрах, по периметру та для підсвічування фасаду будинків, для спортивних майданчиків і стадіонів та прилеглих до них територіях.

При виробництві світлодіодних або LED-випромінювачів використовуються лише найкращі світлодіоди типу SMD. Led-лампи служать в 5 разів довше звичайних ламп розжарювання і в 2 рази довше, у порівнянні з люмінесцентними лампами, що істотно знижує витрати на енергозабезпечення приміщень. Вже станом на початок 2010 року світлодіодні лампи зрівняли свої технічні показники з кращими люмінесцентними лампами. Але, в порівнянні з люмінесцентними лампами, вони не чутливі до частих включень світла, тому їх можна сміливо встановлювати в довільну галузь господарства, навіть де можливі перебої з надходженням електроенергії.

Світлодіодні (LED) лампи вже широко відомі споживачам і продовжують завойовувати ринок електроінсталяційної продукції. Вони приваблюють споживачів розмаїттям та можливістю зміни кольору свічення. Крім того, LED лампи можуть мати як завгодно різні розміри. Їх можна встановлювати як підсвічування в довільні елементи інтер'єру спортивного приміщення, наприклад, у гіпсокартонні стіни чи підвісні стелі.

Заміна традиційних джерел світла на світлодіодні лампи жодних змін в конструкції світильників не потребує, тому що для світлодіодних ламп передбачено стандартний розмір цоколя, і розміри відповідають звичайним джерелам світла.

На прикладі однієї з ламп, а саме LED TM 220 опишу переваги світлодіодних джерел випромінювання, які варто використати при проектуванні освітлення шкільних спортивних майданчиків:

- 1) при експлуатації – підвищена міцність;

- 2) технічними характеристиками ламп вказані на упаковці;
- 3) термін служби 30 000 год.;
- 4) витримані норми пожежної безпеки та екологічні;
- 5) економічне енергоспоживання;
- 6) яскравість свічення, в більшості випадків, краща ніж у традиційних;
- 7) стійкість до зміни температурних режимів при експлуатації.

## **2.6 Особливості системи електроживлення світлодіодної освітлювальної установки**

Для світлодіодів при їх експлуатації необхідний перетворювач, зображений на рис. 2.10, що може змінювати змінний струм, що поступає від мережі, до розташовування спортивного майданчику, на відповідно потрібний постійний струм і забезпечує його регулювання в процесі експлуатації світлодіодів. Запропоновано, щоб надійного використовувати енергоефективні джерела драйвер для живлення, LED-drivers, що перетворюватиме змінний струм системи напругою 220/380 В та 50 Гц із міської електромережі напруги населених пунктів у постійний струм, що використовується для світлодіодів. Окрім цього, світлодіоди будуть захищеними від коливання напруги живлення таким перетворенням.

Деякі драйвери виготовляються для експлуатації конкретної світлодіодної системи освітлення, тоді як інші можуть працювати з найбільш розповсюдженими типами світлодіодів. Світлодіодні драйвери, як правило, досить компактні, що дозволяє їм поміститися всередині розподільної коробки світлодіодних світильників. Вони працюють з високою ефективністю у багатьох системах світлодіодного освітлення і мають можливість дистанційного керування джерелом живлення.



Рисунок 2.10 LED-drivers – блок живлення

Задачі драйверів – виконувати секвенування світлодіодів, при необхідності приглушувати зміну кольоровості спектру свічення. Системи контролю такі як фотоелементи, датчі присутності, задимлення, пульти дистанційного керування, автоматизовані системи освітлення є сумісними із такими драйверами світлодіодних систем освітлення.

## 3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Аналіз результатів теоретичного дослідження фотометричних характеристик світлових приладів

Великий асортимент світлових приладів представлений на ринку дозволяє досить легко підібрати потрібні світильники прожекторного типу з відповідними до поставленого у кваліфікаційній роботі завдання фотометричними, спектральними, електротехнічними та економічними характеристиками. Обираю для розробки моделі та проектування освітлювальної установки світлодіодні світильники прожекторного типу вітчизняний ДО72У (виробник ТОВ «ОСП Корпорація Ватра») у його модифікації ДО72У-120-03 У1 та для порівняння світлодіодний прожектор GL-FL120 (виробник фірма Philips) через відповідні до завдання та споріднені між собою їх електротехнічні та світлотехнічні параметри, за яких вони обидва мають переваги над аналогічними світловими приладами. Коротко опишу найважливіші з їх характеристик.

Світлодіодний прожектор ДО72У.



Рис. 3.1 Світлодіодний прожектор ДО72У

Світлодіодний світильник прожекторного типу ДО72У-120-03 У1, представлений на рис. 3.1, відповідає вітчизняним технічним умовам ТУ У 27.4-33680115-043:2012. Він має широке та універсальне застосування для освітлення

транспортних територій, промислових, будівельних, залізничних, сільськогосподарських чи спортивних комплексів. Корпусні деталі виготовлені з високоякісних алюмінієвих сплавів, монтажна ліра – із сталюого прокату, світлопропускаючим елементом служить модифіковане прозоре плоске гартоване скло. Укомплектований електронним джерелом живлення Mean Well, та джерелами світла (на вибір користувачів) Gree або Seoul Semiconductor. Живлення підключається через один кабельний ввід кабелем діаметром 6÷12 мм жилами поперечного перерізу 1,5÷4 мм<sup>2</sup> в залежності від потужності джерела світла.

Основні його світлотехнічні характеристики:

- напруга живлення – 220 В;
- ступінь захисту – IP65;
- потужність – 60, 100, 120 Вт (на вибір користувача);
- світловий потік – 7200, 12000, 14400 лм (відповідно до обраної потужності);
- сила світла для обраної модифікації DO72Y-120-03 U1 – 75, 58, 30 ккд (відповідно для кутів розсіюванні  $2\alpha$ );
- кутів розсіюванні  $2\alpha$  при  $I=0,5*I_{max}$  горизонтальний/вертикальний – 15/15; 20/20; 25/25.

Криві сили світла у прямокутній та полярній системах показано на рис. 3.2 та рис. 3.3.

Саме цей світлодіодний прожектор обраний для моделювання освітлювальної установки у програмному середовищі DiaLux, тому уточнювати просторовий розподіл його світлового потоку не потрібно іншими програмними засобами.



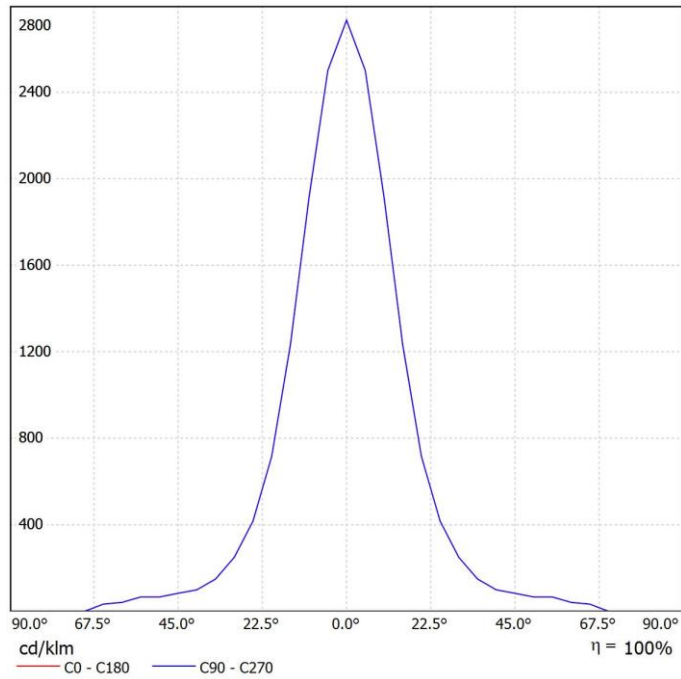


Рис. 3.2 Крива сили світла прожектора ДО72У-120-03 У1 у кд/клм (прямокутна система координат)

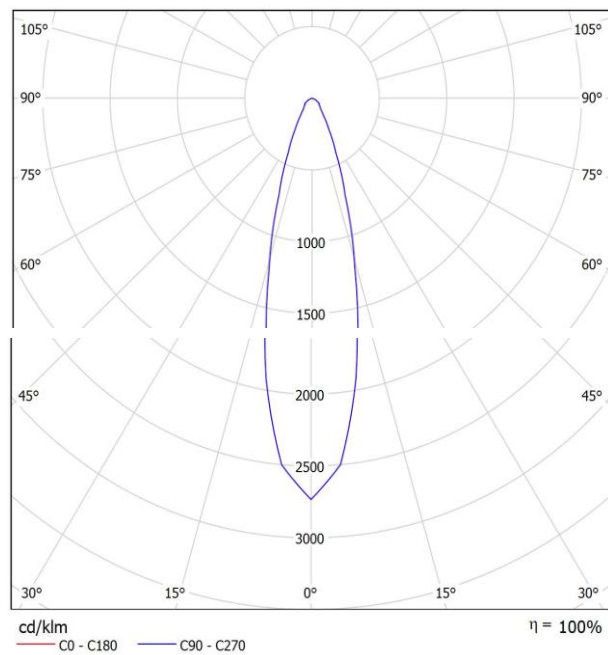


Рис. 3.3 Крива сили світла прожектора ДО72У-120-03 У1 у кд/клм (полярна система координат)

Прожектор світлодіодний марки GL-FL120.

Використовувана потужність світлодіодного прожектора GL-FL120, що відтворений на (рис. 3.4) – 110 Вт, виготовлявся як альтернатива люмінісцентним світловим приладам та світильникам з лампами розжарення для, в основному,

спортивних об'єктів, Він оснащений потужним світлодіодним чіпом Philips Lumileds, який ефективно перетворюють електроенергію у видимий світловий потік.

Прожектор призначений для створення якісного природнього освітлення, має достатньо значний термін служби – більше 30 тисяч годин. Прогноз його роботи до шести-восьми годин у темний період дня, так як, припускається, що у світлий час доби природнього освітлення буде достатньо для спортивного майданчику.

За такого розрахунку даний прожектор зможе експлуатуватися більше п'ятнадцяти років, що значно заощадить витрати на обслуговування.



Рисунок 3.4 - GL-FL120 світлодіодний прожектор

У прожектора GL-FL120 забезпечується якісне свічення холодного білого відтінку кольору з кольоровою температурою 6000 К та індексом кольоропередачі R більшим рівним 80. Для серії FloodLight характерне не лише понижене споживання електроенергії в порівнянні з аналогічними традиційними світильниками, але й зменшення вази на 40%. На 30% збільшилась ефективність цієї серії у порівнянні з серією SportLight.

### 3.2 Програмний модуль дослідження освітленості створеної прожекторами

Горизонтальна освітленість розраховується по формулі:

$$E = [I(\alpha) \cdot \cos(\theta)] / [L^2 \cdot k] \text{ або } E = [I(\alpha) \cdot \cos^3(\theta)] / [h^2 \cdot k]$$

де  $I(\alpha)$  – сила світла прожектора в напрямку до розрахункової точки;

$\theta$  – кут між вказаним напрямком сили світла і перпендикуляром до площини, в якій розраховується освітленість;

$L$  – відстань між прожектором і розрахунковою точкою (OA на рис 3.4);

$k$  – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в процесі експлуатації освітлювальної установки через старіння ламп, забруднення оптики прожекторів і т. д. (зазвичай в прожекторних установках  $k = 1,5$ );

$h$  – висота встановлення прожектора над освітлюваної поверхнею (див рис 3.4).

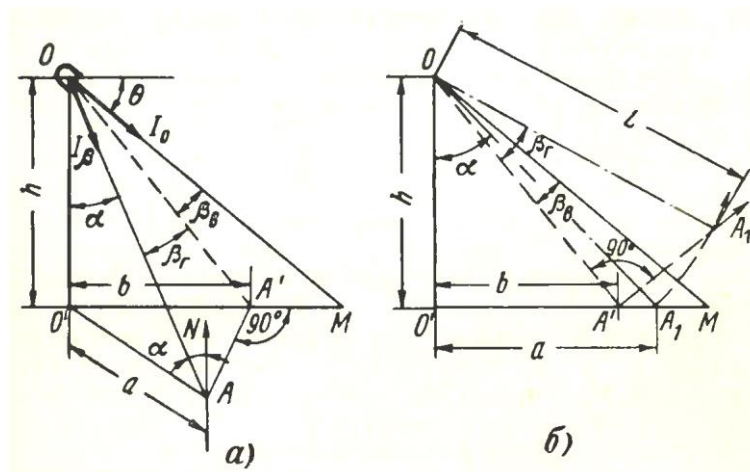


Рис. 3.4 Для визначення освітленості в горизонтальній та вертикальній площинах спортивних площадок.

а) – схематичне визначення розміщення світлових приладів стосовно розрахункової точки;

б) – схема графічного визначення шуканих геометричних параметрів для обчислення освітленості.

Для обчислення вертикальної освітленості в площині, яка перпендикулярна до напрямку до основи прожекторної опори, використовують

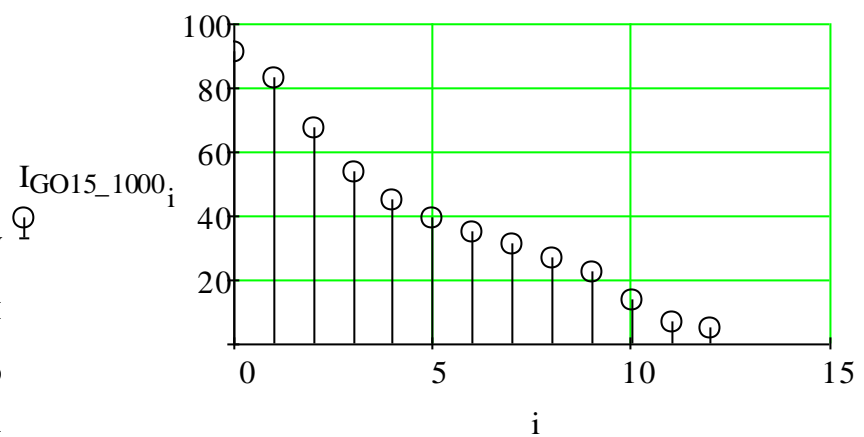
емпіричне співвідношенням між горизонтальною та вертикальною освітленістю в точці:

$$E_{\text{вер.}} = E_{\text{гор.}} * (b/h)$$

де  $b$  – відстань від основи перпендикуляра, опущеного з розрахункової точки  $A$  на проекцію оптичної осі прожектора, до основи щогли, на якій він встановлений, довжина  $A'O'$  на рис. 3.4, а.

Дана формула доволі наближена, тому не буде використовуватися.

Можна визначити по куту світла розрахункової точки



$I(\alpha)$ . При обчислення необхідні значення кутів  $\alpha$  і відстань  $L$ . Точку  $A$  на лінії  $O'M$  з'єднуємо з точкою  $O$ . Лінія  $OA = L$ , а кут  $O'OA = \alpha$ . Отже розшукано величини, які потрібні для формули, можливо проводити визначення освітленості.

Покроково обчисливши розподіл освітленості для розрахункової площини для даного спрямування світлового потоку світильників, можна переконатися в її раціональності. Далі проводяться потрібні уточнення напрямів прицілу прожекторів до зони точок із недостатньою освітленістю та знову виконується перевірочний розрахунок.

Блок програми визначення освітленості горизонтальної площини спортивного майданчика на висоті 1 м над його горизонтальною поверхнею розроблений у програмному середовищі комплексу MathCAD. Його фрагмент наводиться нижче в тексті пояснюючої записки. Повний текст програми розміщено в електронному варіанті кваліфікаційної роботи.

Визначення кривої сили світла прожектора GL-FL120 у вертикальній площині (в залежності від зміни кута  $\alpha$ )

$$I_{GO15\_1000} \equiv \begin{pmatrix} 91 \\ 83 \\ 67.5 \\ 53.5 \\ 45 \\ 39.5 \\ 35 \\ 31.5 \\ 27 \\ 22.5 \\ 14 \\ 7 \\ 5.25 \end{pmatrix}$$

Створення симетричної функції  $I(\alpha)$

$$j := 0..11$$

$$II_j := I_{GO15\_1000}_{11-j}$$

$$\text{rows}(II) = 12$$

$$j1 := 0.. \text{rows}(II) - 1$$

$$j := 0..10$$

$$\alpha_{j1} := -11 + j1$$

$$II_{j+12} := I_{GO15\_1000}_{1+j}$$

Результат

$$II^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	7	14	22.5	27	31.5	35	39.5	45	53.5	...

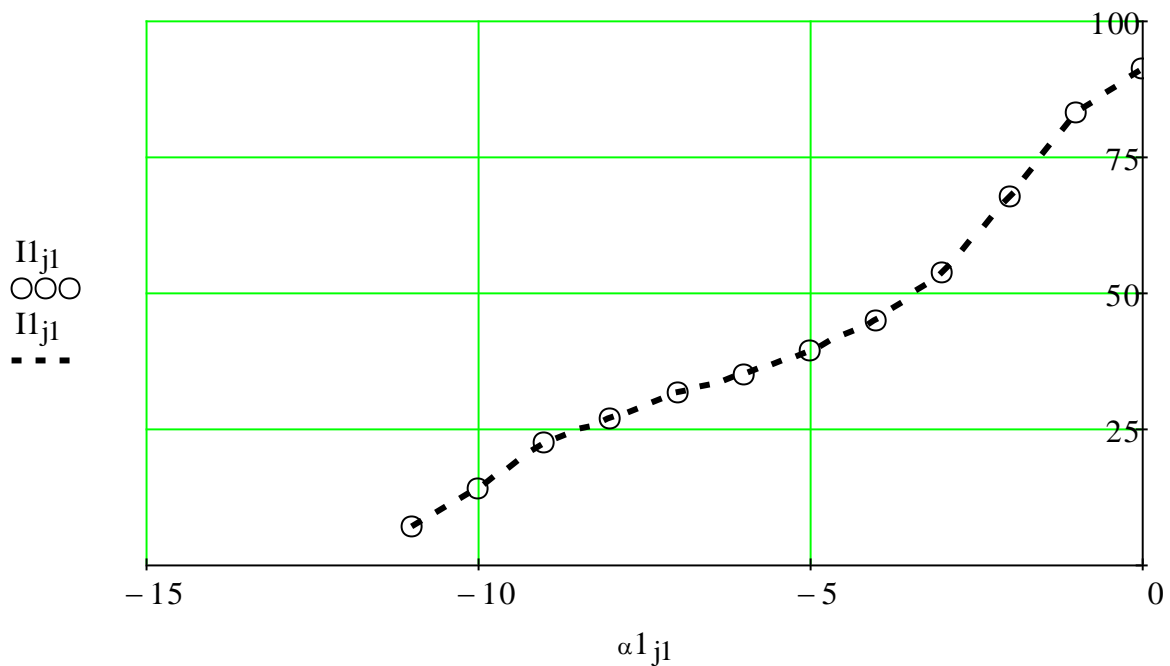
$j_{11} := 0..22$

$\alpha_{11 j_{11}} := -11 + j_{11}$

$$\alpha_{11}^T =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	...

Паспортні значення залежності сили світла від куту відхилення у вертикальній площині від оптичної осі прожектора



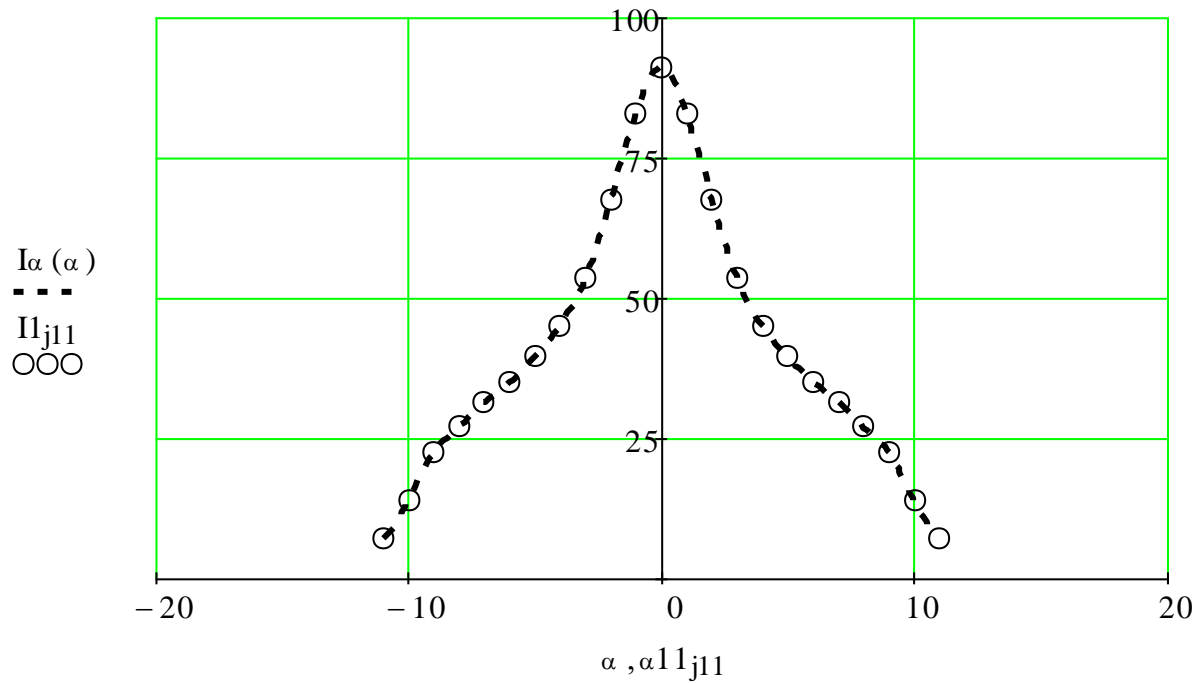
Інтерполяція кубічним сплайном значень сили світла як функції кута  $\alpha$

$KSP_{\alpha} := cspline(\alpha_{11}, I_{11})$

$\alpha := -11, -10.9..11$

$I_{\alpha}(\alpha) := interp(KSP_{\alpha}, \alpha_{11}, I_{11}, \alpha)$

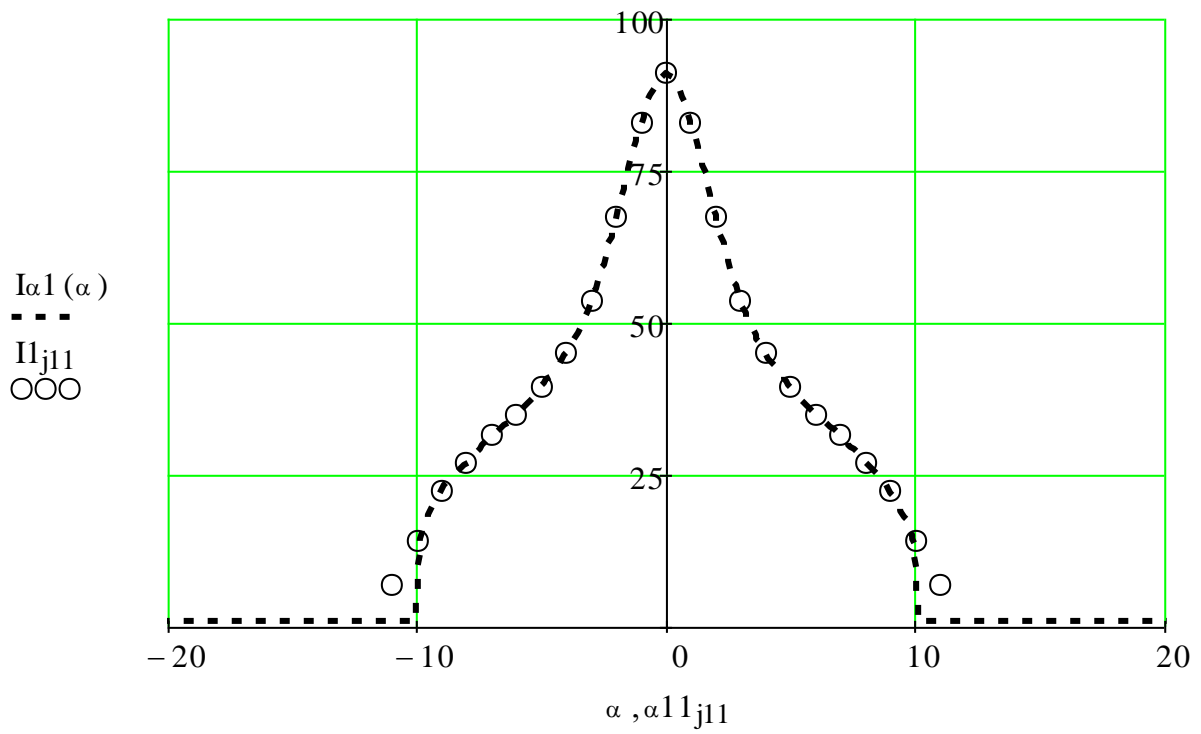
Інтерпольована куб-сплайном по  $\alpha$  ф-ція сили світла у відносних одиницях при  $\beta = 0$   
в декартових координатах та експериментальні значення  $I(\alpha)$



Створення відмінної від нуля  $I(\alpha)$

$$I_{\alpha 1}(\alpha) := \begin{cases} I_\alpha(\alpha) & \text{if } |\alpha| \leq 10 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\alpha := -90, -89.9 \dots 90$$

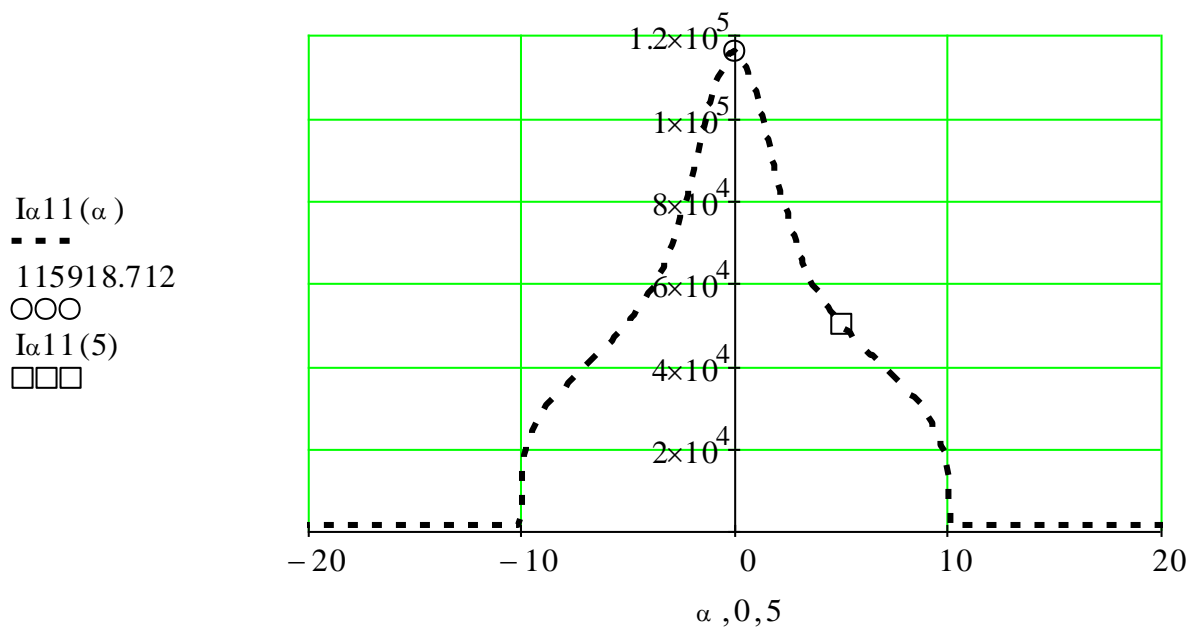


Врахування поправочних коефіцієнтів

$$k_1 := 2.408$$

$$k_2 := 23$$

$$I_{\alpha 11}(\alpha) := k_1 \cdot k_2^2 \cdot I_{\alpha 1}(\alpha)$$





## Формули для розрахунку освітленості горизонтальної площини

Необхідно задати висоту, на якій встановлюються прожектори **H**

$$H = 10$$

Координата крайньої по ширині точки освітлювального майданчика **Y**

$$Y = -12$$

$$E_{min} = 180$$

$$E_n = 230$$

$$Y = 12$$

Відстань від прожектора до точки, в якій розраховується освітленість **L(y)**

$$L_1(y) := \sqrt{H^2 + (Y - y)^2}$$

$$L_2(y) := \sqrt{H^2 + (-Y - y)^2}$$

Кут між напрямком сили світла та нормаллю до площини **Q(y)**

$$\theta_1(y) := \frac{180}{\pi} \cdot \arccos\left(\frac{H}{L_1(y)}\right)$$

$$\theta_2(y) := \frac{180}{\pi} \cdot \arccos\left(\frac{H}{L_2(y)}\right)$$

Кут відхилення від оптичної осі прожектора **a(y)**

$$\alpha_1(y_0, y) := \theta_1(y_0) - \theta_1(y)$$

$$\alpha_2(y_0, y) := \theta_2(y_0) - \theta_2(y)$$

Освітленість гор. площини, при  
спрямуванні опт.  
осі прожектора в т.у0: **E(y0, y)**

$$E_1(y_0, y) := \frac{I_{\alpha 11}(\alpha_1(y_0, y)) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{180} \cdot \theta_1(y)\right)}{L_1(y)^2}$$

$$E_2(y_0, y) := \frac{I_{\alpha 11}(\alpha_2(y_0, y)) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{180} \cdot \theta_2(y)\right)}{L_2(y)^2}$$

## Створення функції мети

$$F(x) := \begin{cases} E_{\min} + \left( \frac{E_{\max} - E_{\min}}{-Y + Y1} \right) \cdot (|-Y + x|) & \text{if } Y \leq x < Y1 \\ 1000 & \text{if } Y1 \leq x \leq -Y1 \\ E_{\max} - \left[ \frac{E_{\max} - E_{\min}}{-Y - (-Y1)} \right] \cdot (x + Y1) & \text{if } -Y1 < x \leq -Y \\ 200 & \text{otherwise} \end{cases}$$

### 3.3 Програмний модуль дослідження спектру свічення світлодіодів

Приклад одного з програмних блоків дослідження спектрального складу прожекторних світлодіодних джерел.

Програмний модуль визначення спектрального складу випромінювання світлодіодних джерел відбитого алюмінієвим відбивачем прожектора.

$$\phi_{\lambda} \text{HQI}^T = \begin{array}{c|cccccccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 0 & 380 & 390 & 400 & 410 & 420 & 430 & 440 & 450 & 460 & 470 \\ \hline 1 & 21 & 30 & 38 & 61 & 80 & 44 & 38 & 38 & 50 & \dots \end{array} \cdot$$

$$\phi_{\lambda} \text{HQI}^T = \begin{array}{c|cccccccccc} & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 & 15 & 16 & 17 & 18 & 19 \\ \hline 0 & 480 & 490 & 500 & 510 & 520 & 530 & 540 & 550 & 560 & 570 \\ \hline 1 & 42 & 39 & 43 & 45 & 42 & 58 & 100 & 48 & 47 & \dots \end{array} \cdot$$

$$\phi_{\lambda} \text{HQI}^T = \begin{array}{c|cccccccccc} & 20 & 21 & 22 & 23 & 24 & 25 & 26 & 27 & 28 & 29 \\ \hline 0 & 580 & 590 & 600 & 610 & 620 & 630 & 640 & 650 & 660 & 670 \\ \hline 1 & 50 & 65 & 63 & 51 & 46 & 43 & 38 & 35 & 43 & \dots \end{array} \cdot$$

$$\Delta\lambda := 10 \quad \text{HM}$$

$$n := 0.. \text{rows}(\phi_{\lambda} \text{HQI}) - 1$$

$$\lambda_n := 380 + n \cdot \Delta\lambda \quad \text{HM}$$

$$\lambda^T = \begin{array}{c|cccccccccc} & 18 & 19 & 20 & 21 & 22 & 23 & 24 & 25 & 26 & 27 \\ \hline 0 & 560 & 570 & 580 & 590 & 600 & 610 & 620 & 630 & 640 & \dots \end{array} \cdot$$

$$\text{Const} := \max(\phi \lambda \text{HQI} \langle 1 \rangle)$$

$$\text{Const} = 100$$

$$\phi \lambda \text{idn} := \begin{cases} \lambda \langle 0 \rangle \leftarrow \lambda \\ \phi \lambda \leftarrow \phi \lambda \text{HQI} \langle 1 \rangle \cdot \text{Const}^{-1} \\ \phi \leftarrow \text{augment}(\lambda, \phi \lambda) \end{cases}$$

$$\phi \lambda \text{idn} \text{ T} =$$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	380	390	400	410	420	430	440	450	460	470
1	0.21	0.3	0.38	0.61	0.8	0.44	0.38	0.38	0.5	...

$$\phi \lambda \text{idn} \text{ T} =$$

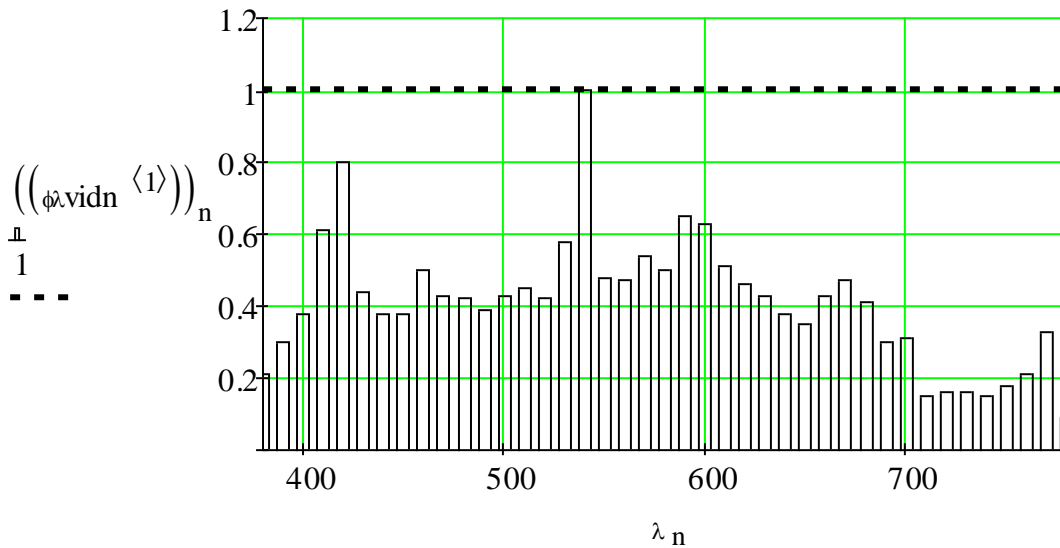
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570
1	0.42	0.39	0.43	0.45	0.42	0.58	1	0.48	0.47	...

$$\phi \lambda \text{idn} \text{ T} =$$

	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
0	680	690	700	710	720	730	740	750	760	770
1	0.41	0.3	0.31	0.15	0.16	0.16	0.15	0.18	0.21	...

$\phi_{\lambda \text{vidn}}^T =$		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
0		580	590	600	610	620	630	640	650	660	670
1		0.5	0.65	0.63	0.51	0.46	0.43	0.38	0.35	0.43	...

Графік відносного спектрального розподілу потоку випромінювання джерела світла -(%), -(нм)



Відносний спектральний коефіцієнт відбивання алюмінієвої поверхні відбивача прожектора -(%), -(нм)

$\rho^T =$		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		225	250	275	300	325	350	375	400	425	450
1		92	93	94	92	92	92	92	94	92	...

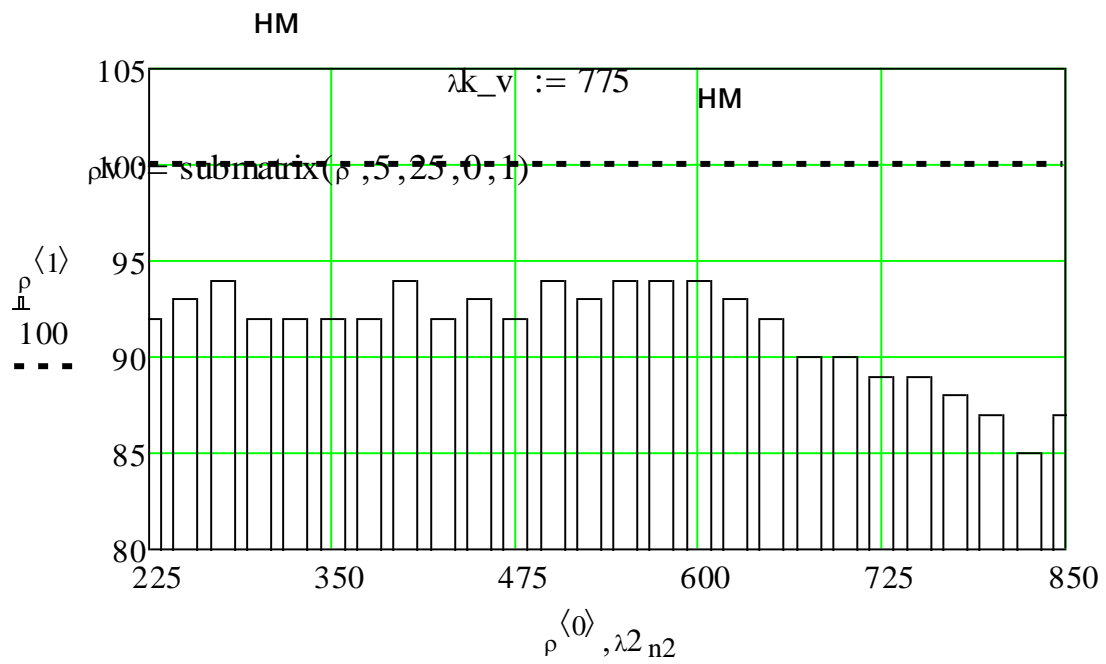
$\rho^T =$		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0		475	500	525	550	575	600	625	650	675	700
1		92	94	93	94	94	94	93	92	90	...

$\Delta\lambda_2 := 25$  нм

$n_2 := 0.. \text{rows}(\rho) - 1$

Графік відносного спектрального розподілу коефіцієнта відбивання алюмінієвої поверхні відбивача -(%),  $\lambda^2(\text{нм}) = \lambda^2_{\text{proch}} + n_2 \cdot \Delta\lambda_2$  нм

$\lambda_{p\_v} := 375$



$$\rho^V T = \begin{array}{c|ccccccccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \hline 0 & 350 & 375 & 400 & 425 & 450 & 475 & 500 & 525 & 550 & 575 \\ \hline 1 & 92 & 92 & 94 & 92 & 93 & 92 & 94 & 93 & 94 & \dots \end{array} \cdot$$

$$\rho^V T = \begin{array}{c|ccccccccccc} & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 & 15 & 16 & 17 & 18 & 19 \\ \hline 0 & 600 & 625 & 650 & 675 & 700 & 725 & 750 & 775 & 800 & 825 \\ \hline 1 & 94 & 93 & 92 & 90 & 90 & 89 & 89 & 88 & 87 & \dots \end{array} \cdot$$

Інтарполяція кубічним сплайном експериментальних значень коефіцієнта

відбивання алюмінію

$$A := \begin{bmatrix} \sum_i [(\rho^{(0)})_i]^0 & \sum_i [(\rho^{(0)})_i]^1 & \sum_i [(\rho^{(0)})_i]^2 & \sum_i [(\rho^{(0)})_i]^3 \\ \sum_i [(\rho^{(0)})_i]^1 & \sum_i [(\rho^{(0)})_i]^2 & \sum_i [(\rho^{(0)})_i]^3 & \sum_i [(\rho^{(0)})_i]^4 \\ \sum_i [(\rho^{(0)})_i]^2 & \sum_i [(\rho^{(0)})_i]^3 & \sum_i [(\rho^{(0)})_i]^4 & \sum_i [(\rho^{(0)})_i]^5 \\ \sum_i [(\rho^{(0)})_i]^3 & \sum_i [(\rho^{(0)})_i]^4 & \sum_i [(\rho^{(0)})_i]^5 & \sum_i [(\rho^{(0)})_i]^6 \end{bmatrix}$$

$$B := \begin{bmatrix} \sum_i [(\rho^{(0)})_i]^0 \cdot (\rho^{(1)})_i \\ \sum_i [(\rho^{(0)})_i]^1 \cdot (\rho^{(1)})_i \\ \sum_i [(\rho^{(0)})_i]^2 \cdot (\rho^{(1)})_i \\ \sum_i [(\rho^{(0)})_i]^3 \cdot (\rho^{(1)})_i \end{bmatrix}$$

$$a3 := A^{-1} \cdot B \quad \lambda3 := 380,390..780$$

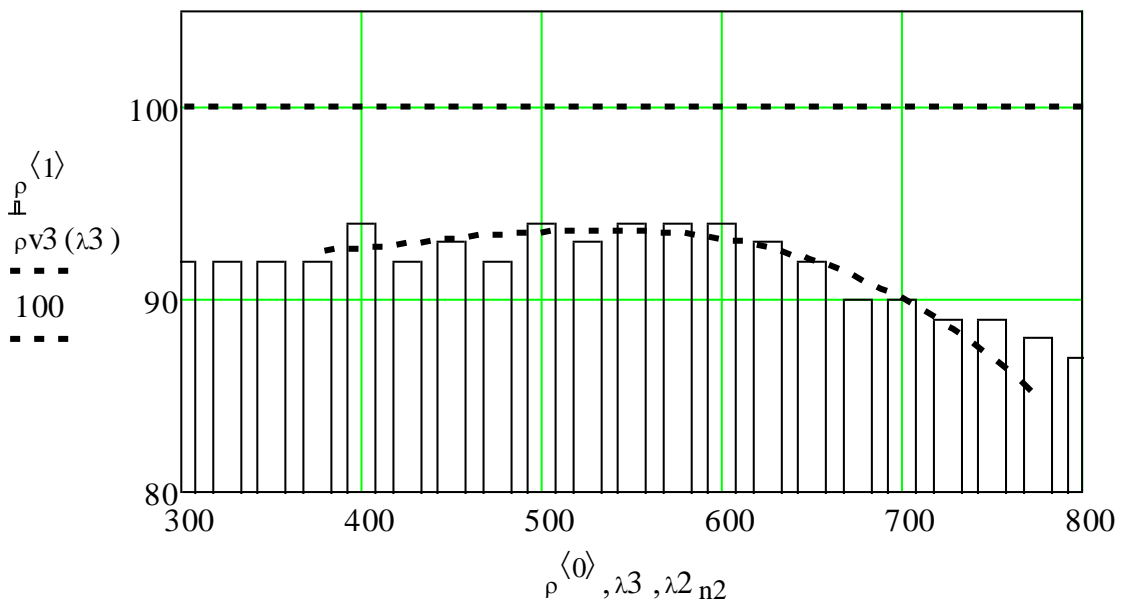
$$a3 = \begin{pmatrix} 108.99 \\ -0.13 \\ 3.34 \times 10^{-4} \\ -2.62 \times 10^{-7} \end{pmatrix} \quad \text{last}(a3) = 3$$

$$\rho v3(\lambda3) := \sum_{i3=0}^{\text{last}(a3)} (a3_{i3} \cdot \lambda3^{i3})$$

$$n4 := 0.. \text{rows}(V) - 1$$

$$\rho v4_{n4} := \rho v3(\lambda_{n4})$$

Суміщені графіки спектрального коефіцієнта відбивання: експериментальних його значень та функціональної залежності від довжини хвилі визначеної через кубічний сплайн.



#### Відносна спектральна чутливість ока людини

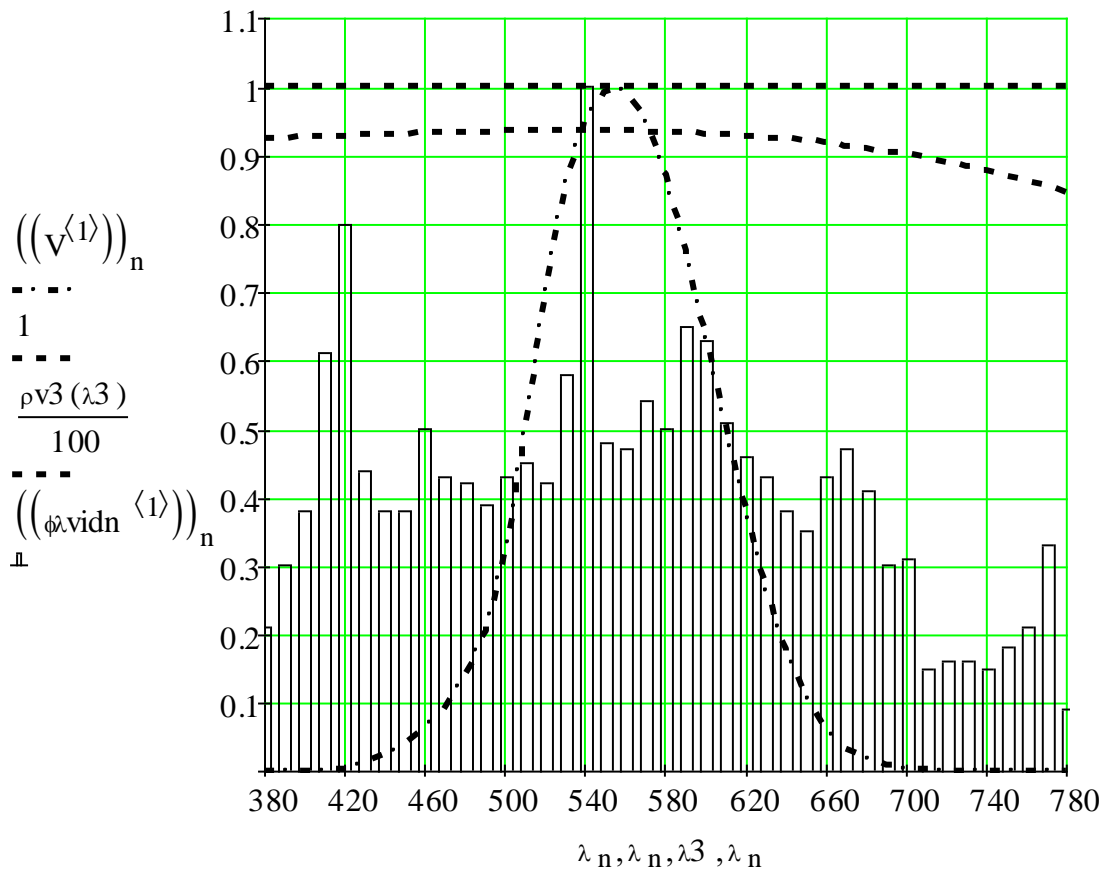
$$V^T = \begin{array}{c|cccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \hline 0 & 380 & 390 & 400 & 410 & 420 & 430 \\ 1 & 4 \cdot 10^{-4} & 1.2 \cdot 10^{-4} & 4 \cdot 10^{-4} & 1.2 \cdot 10^{-3} & 4 \cdot 10^{-3} & \dots \end{array} \cdot$$

$$V^T = \begin{array}{c|cccccc} & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 \\ \hline 0 & 440 & 450 & 460 & 470 & 480 & 490 \\ 1 & 0.023 & 0.038 & 0.06 & 0.091 & 0.139 & \dots \end{array} \cdot$$

$$V^T = \begin{array}{c|cccccc} & 12 & 13 & 14 & 15 & 16 & 17 \\ \hline 0 & 500 & 510 & 520 & 530 & 540 & 550 \\ 1 & 0.323 & 0.503 & 0.71 & 0.862 & 0.954 & \dots \end{array} \cdot$$

$$V^T = \begin{array}{c|cccccc} & 18 & 19 & 20 & 21 & 22 & 23 \\ \hline 0 & 560 & 570 & 580 & 590 & 600 & 610 \\ 1 & 0.995 & 0.952 & 0.87 & 0.757 & 0.631 & \dots \end{array} \cdot$$

Суміщені графіки відносної спектральної ефективності та спектрального коефіцієнта відбивання



Приклад розрахунку реального світлового потоку прожекторів:

$$\Phi 1 := 6.83 \cdot \sum_{n=0}^{39} \left[ \left( (\phi_{\lambda \text{HQI}}^{1'}) \right)_n \cdot \left( V^{1'} \right)_n \cdot \Delta \lambda \right]$$

$$\Phi 1 = 39919.552$$

ЛМ

$$\Phi 2 := \frac{6.83}{100} \cdot \sum_{n=0}^{39} \left[ \left( (\phi_{\lambda \text{HQI}}^{1'}) \right)_n \cdot \left( V^{1'} \right)_n \cdot \rho v 4_n \cdot \Delta \lambda \right]$$

$$\Phi 2 = 37271.688$$

ЛМ



### 3.4 Моделювання системи освітлення реального майданчику в середовищі DiaLux

Програмний комплекс DiaLux безпосередньо призначений для розрахунків освітлення найрізноманітніших об'єктів. У цьому пакеті зручно і моделювати світлове середовище, є можливість візуалізації як рівнів освітленості визначених площин, наприклад, спортивного майданчику, так і об'ємного світлового поля, створеного освітлювальною установкою.

У роботі для прикладу розроблено та спроектовано освітлювальна установка для шкільного спортивного майданчика с. Стегниківці Тернопільського району.

Повністю модель системи освітлення майданчика включає:

- 1) паспорти світильників Д072У-120-03 У1 з кутами розсіювання  $2\alpha$  при  $I=0,5*I_{max}$  у горизонтальній/вертикальній площинах – 15/15 та 25/25;
- 2) дані компоновки спортивної площадки;
- 3) відомості світильників;
- 4) вид у плані;
- 5) план розташування світильників;
- 6) координати встановлення світильників;
- 7) огляд результатів GR-спостерігачів;
- 8) візуалізацію освітленості горизонтальної площини на висоті 1 м над поверхнею спортивної площадки;
- 9) 3D візуалізацію;
- 10) ізолінії освітленості горизонтальної площини  $E_g$  в градації сірих кольорів та повноспектральній;
- 11) графіки значень освітленості горизонтальної площини  $E_g$ ;
- 12) розрахункові числові значення освітленості горизонтальної площини  $E_g$ .

Найважливіші фрагменти з протоколу проекту освітлення цього спортивного майданчику наводжу.

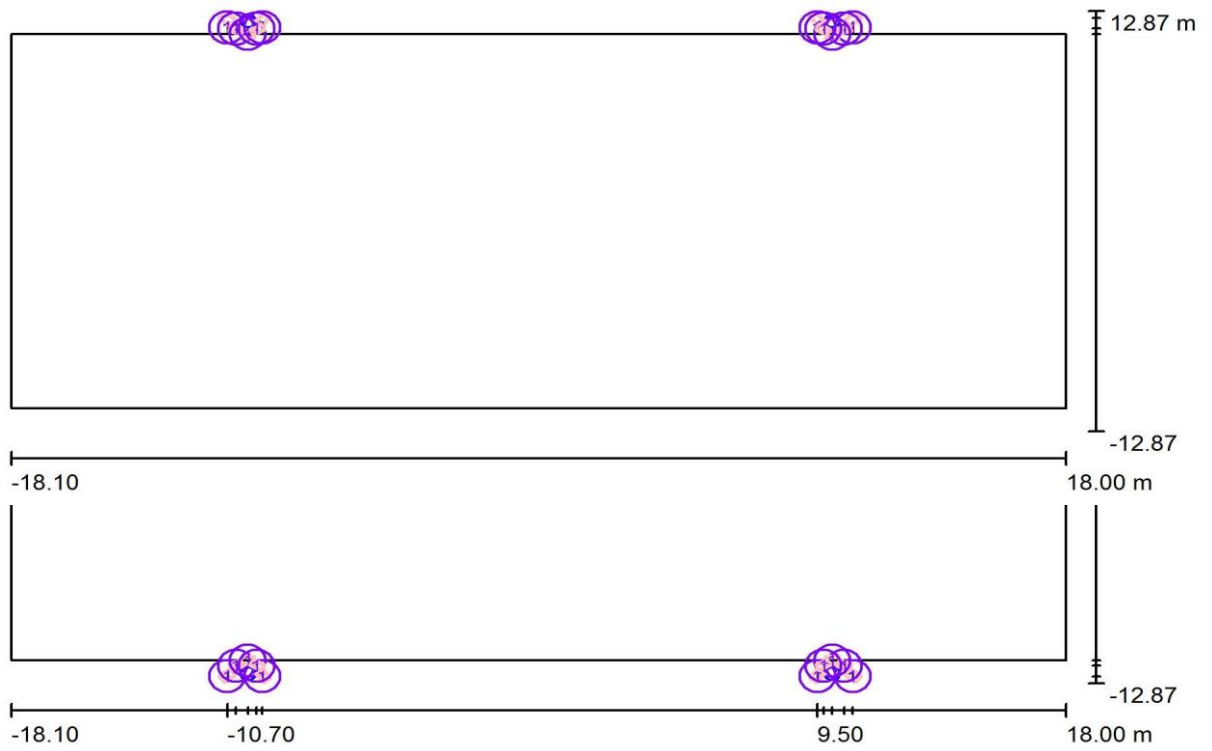


Рис. 3.5 План розташування світильників

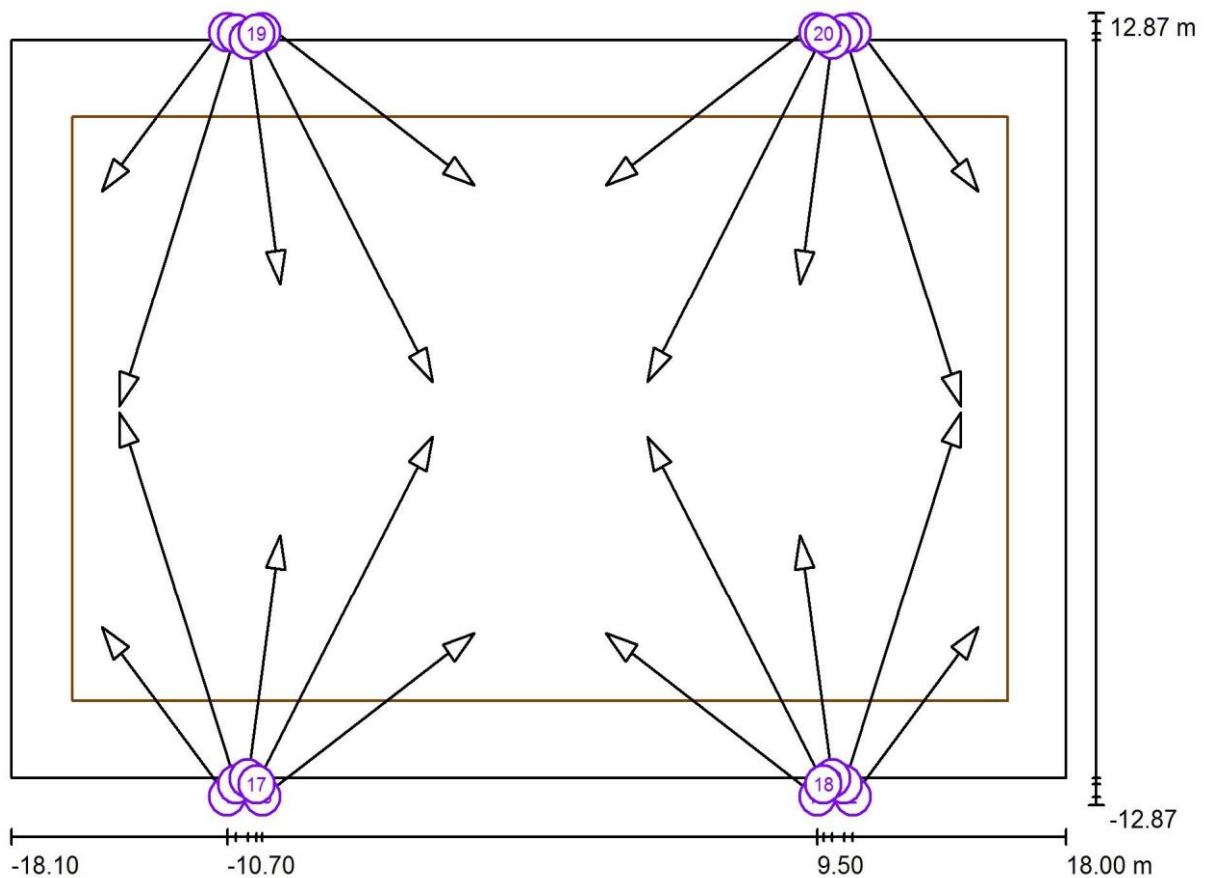


Рис. 3.6

Напрямки прицілу оптичних осей (спрямування максимальної сили світла) світильників

Таблиця 3.1. Координати розташування світильників, кути повороту світильників

№	Позиція [m]			Обертання [°]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-10.7	-12.6	10.0	34.9	0.0	38.0
2	10.7	-12.6	10.0	34.9	0.0	-38.0
3	-10.7	12.6	10.0	34.9	0.0	142.0
4	10.7	12.6	10.0	34.9	0.0	-142.0
5	-10.4	-12.2	10.0	51.9	0.0	18.3
6	10.4	-12.2	10.0	51.9	0.0	-18.3
7	-10.4	12.2	10.0	51.9	0.0	161.7
8	10.4	12.2	10.0	51.9	0.0	-161.7
9	-10.0	-12.0	10.0	38.6	0.0	-7.9
10	10.0	-12.0	10.0	38.6	0.0	7.9
11	-10.0	12.0	10.0	38.6	0.0	-172.1
12	10.0	12.0	10.0	38.6	0.0	172.1
13	-9.5	-12.6	10.0	41.9	0.0	-53.8
14	9.5	-12.6	10.0	41.9	0.0	53.8
15	-9.5	12.6	10.0	41.9	0.0	-126.2
16	9.5	12.6	10.0	41.9	0.0	126.2
17	-9.7	-12.2	10.0	52.0	0.0	-28.1
18	9.7	-12.2	10.0	52.0	0.0	28.1
19	-9.7	12.2	10.0	52.0	0.0	-151.9
20	9.7	12.2	10.0	52.0	0.0	151.9

Таблиця 3.2. Протокол світильників

Світильник	Індекс	Позиція [m]			Точка прицілу [m]			Кут освітлення [°]	Орієнтація
		X	Y	Z	X	Y	Z		
ДО72У-120-03 У1	5	-10.4	-12.2	10.0	-14.4	-0.1	0.0	38.1	(C 90, G IMax)
Аналог	6	10.4	-12.2	10.0	14.4	-0.1	0.0	38.1	(C 90, G IMax)
Аналог	7	-10.4	12.2	10.0	-14.4	0.1	0.0	38.1	(C 90, G IMax)
Аналог	8	10.4	12.2	10.0	14.4	0.1	0.0	38.1	(C 90, G IMax)
Аналог	9	-10.0	-12.0	10.0	-8.9	-4.1	0.0	51.4	(C 90, G IMax)
Аналог	10	10.0	-12.0	10.0	8.9	-4.1	0.0	51.4	(C 90, G IMax)
Аналог	11	-10.0	12.0	10.0	-8.9	4.1	0.0	51.4	(C 90, G IMax)
Аналог	12	10.0	12.0	10.0	8.9	4.1	0.0	51.4	(C 90, G IMax)
Аналог	13	-9.5	-12.6	10.0	-2.2	-7.3	0.0	48.1	(C 90, G IMax)
Аналог	14	9.5	-12.6	10.0	2.2	-7.3	0.0	48.1	(C 90, G

									I <sub>Max</sub> )
Аналог	15	-9.5	12.6	10.0	-2.2	7.3	0.0	48.1	(C 90, G I <sub>Max</sub> )
Аналог	16	9.5	12.6	10.0	2.2	7.3	0.0	48.1	(C 90, G I <sub>Max</sub> )
Аналог	17	-9.7	-12.2	10.0	-3.7	-0.9	0.0	38.0	(C 90, G I <sub>Max</sub> )
Аналог	18	9.700	-12.2	10.0	3.7	-0.9	0.0	38.0	(C 90, G I <sub>Max</sub> )
Аналог	19	-9.7	12.2	10.0	-3.7	0.9	0.0	38.0	(C 90, G I <sub>Max</sub> )
Аналог	20	9.7	12.2	10.0	3.7	0.9	0.0	38.0	(C 90, G I <sub>Max</sub> )

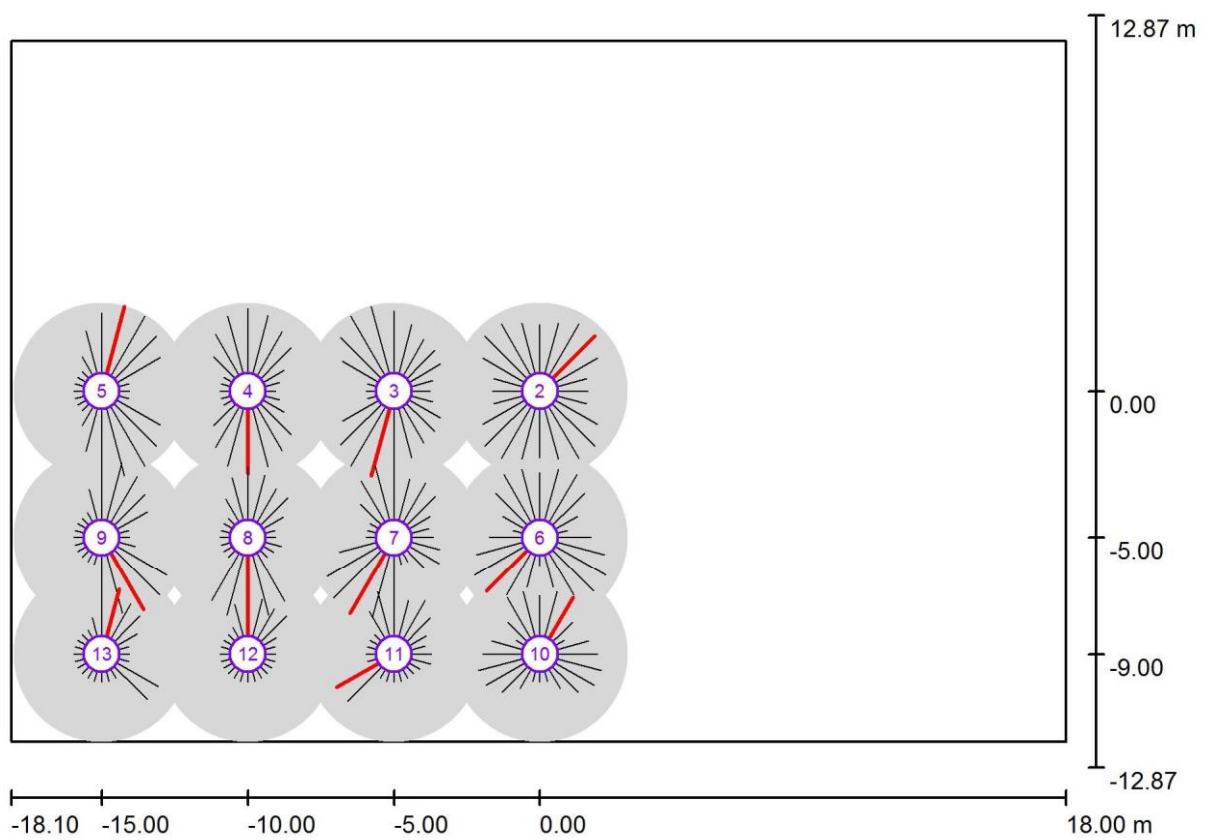


Рис. 3.7 Огляд результатів GR-спостерігача

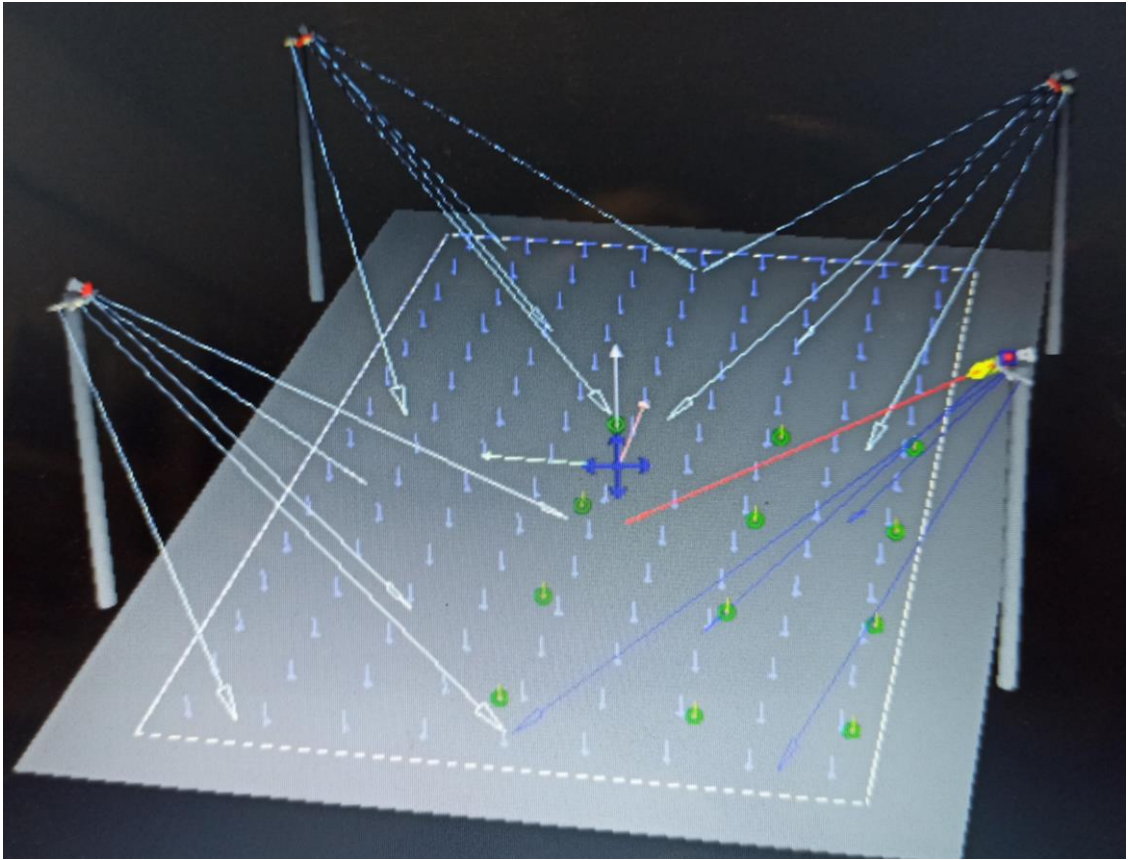
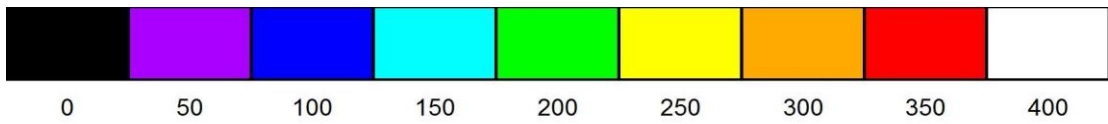
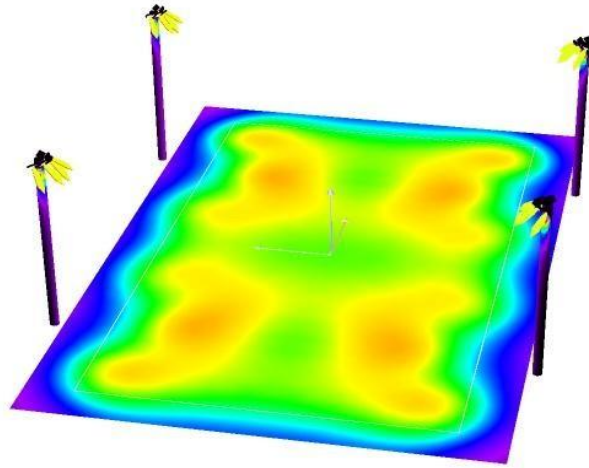


Рис. 3.8 Освітлювальна установка, вид у плані



lx

Рис. 3.9 Візуалізація

Фіктивні кольори відповідності значенням освітленості в люксах

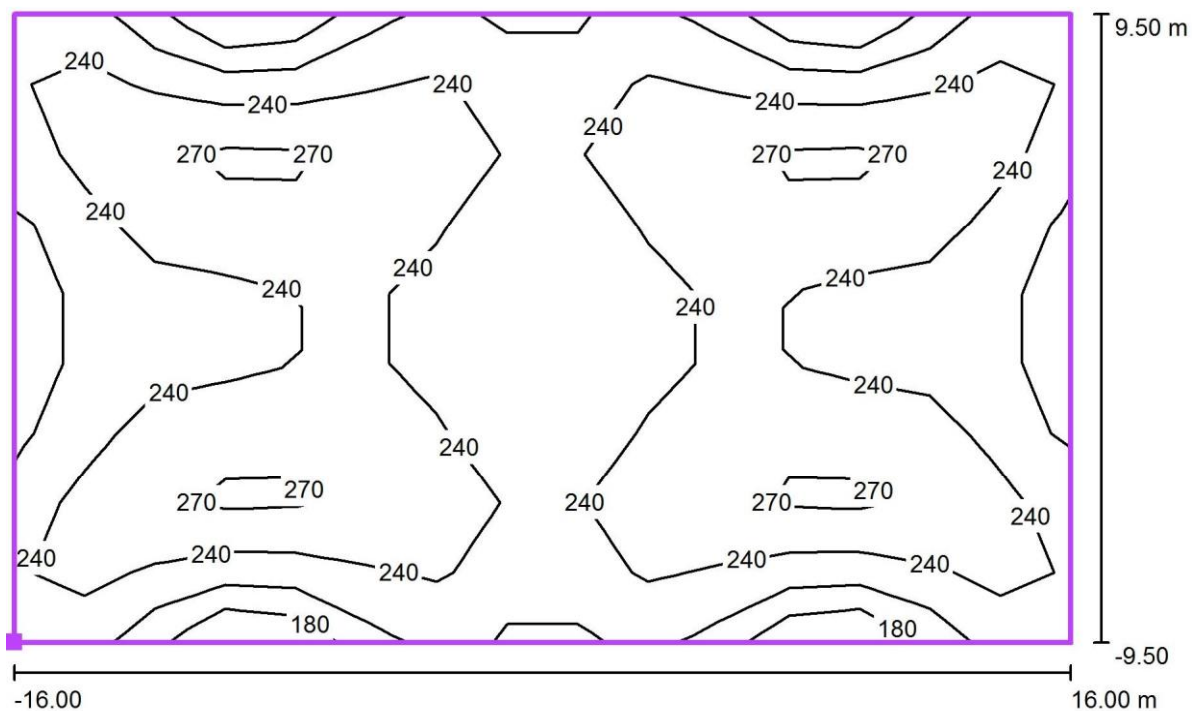


Рис. 3.11 Ізоліній горизонтальної освітленості безпосередньо освітлювального спортивного майданчика. Масштаб 1:230. Растрові точки 15\*9.

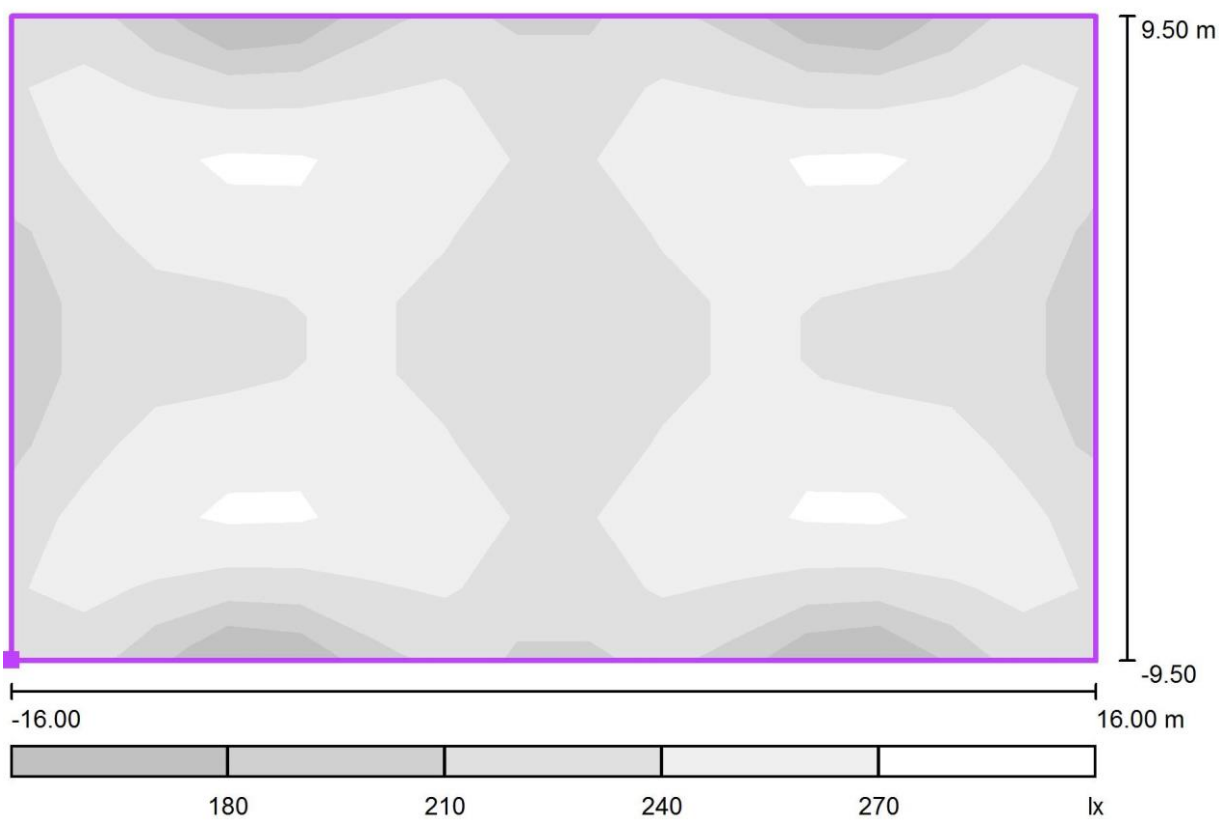


Рис. 3.12 Візуалізація освітленості майданчика.

Градація сірого кольору у відповідності значенням освітленості в люксах

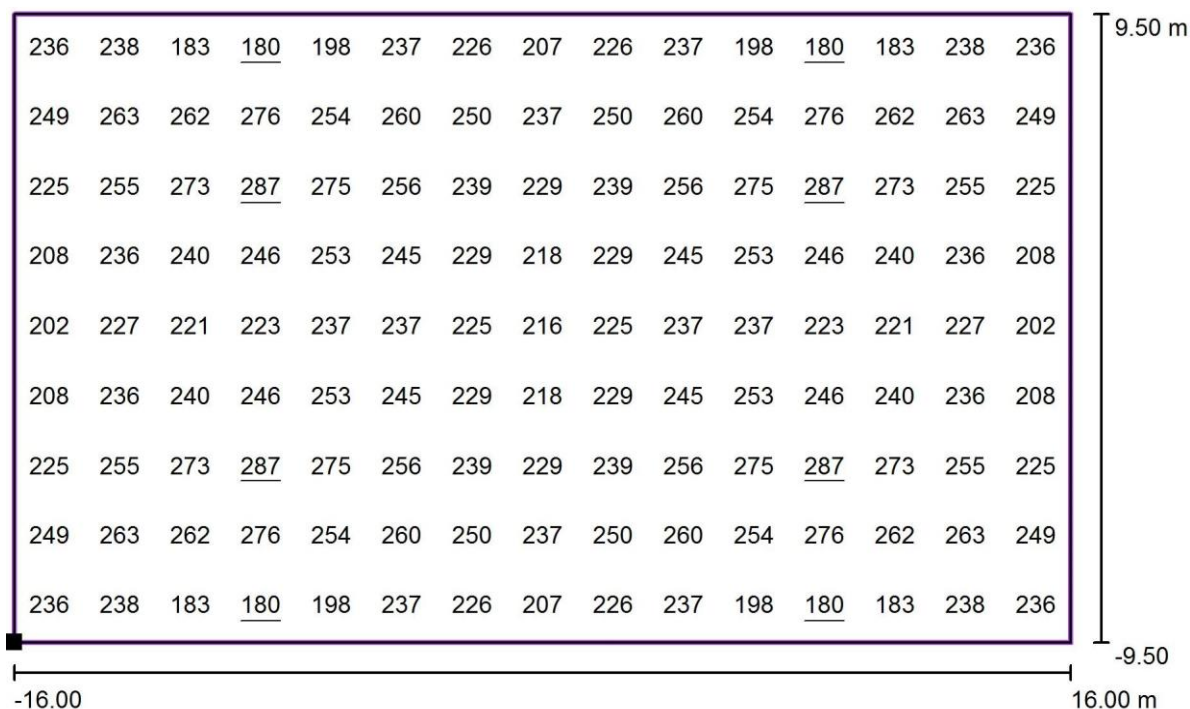


Рис.3.13. Значення освітленості у контрольних точках горизонтальної площини на висоті 1 м над рівнем поля майданчика

Середнє, мінімальне, максимальне значення освітленості нормованої горизонтальної площини спортивного майданчика та коефіцієнти нерівномірності освітлення цієї площини

$E_{cp}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min}/E_{cp}$	$E_{min}/E_{max}$
239	180	287	0.75	0.63

В електронному варіанті для кожного з блоків програми визначення певної світлотехнічної характеристики присутній коментар до виконання конкретних інформаційних чи математичних обчислень. Через це в тексті кваліфікаційної роботи недоцільно їх дублювати В електронному варіанті дослідження програмні процедури представлено повністю.



## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1 ОХОРОНА ПРАЦІ**

#### **4.1.1 Техніка безпеки при проведенні електричних вимірювань та випробувань освітлювальної установки.**

Згідно Правил облаштування електроустановок:

П.1.7.71 Основна ізоляція повинна повністю покривати струмопровідні частини і бути здатною витримувати механічні, електричні, хімічні, теплові та інші впливи, які виникають у процесі експлуатації. Усунення ізоляції повинне бути можливим тільки шляхом її руйнування. Для заводських виробів ізоляція повинна відповідати стандартам або відповідним технічним умовам на це обладнання. Лакофарбові покриття та інші подібні покриття не вважаються ізоляцією, яка захищає від ураження електричним струмом.

П.6.1.13. Для живлення освітлювальних приладів загального внутрішнього та зовнішнього освітлення, як правило, повинна застосовуватися напруга не вище ніж 220 В змінного або постійного струму. У приміщеннях без підвищеної небезпеки для всіх стаціонарно встановлених освітлювальних приладів незалежно від висоти їх установки можна застосовувати напругу 220 В. Напругу 380 В для живлення освітлювальних приладів загального внутрішнього та зовнішнього освітлення можна використовувати за таких умов:

- увід в освітлювальний прилад і незалежний, не вмонтований у прилад, пускорегулювальний апарат обладнується проводами або кабелем з ізоляцією на напругу не менше ніж 660 В;
- увід в освітлювальний прилад двох або трьох проводів різних фаз системи 660/380 В не допускається.

#### **4.1.2 Заходи спрямовані на підвищення рівня техніки безпеки**

Перед початком роботи на проектованій ділянці необхідно перевірити справність устаткування, пристосувань і інструмента, огорож, захисного заземлення, вентиляції. Перевірити правильність складування заготівель і напівфабрикатів. Під час роботи необхідно виконувати всі правила використання технологічного устаткування дотримуватися правила безпечної

експлуатації транспортних засобів, тари та вантажопідіймальних механізмів, дотримуватися вказівки про безпечне утримання робочого місця.

В аварійних ситуаціях необхідно неухильно виконувати всі правила, що регламентують поведінку персоналу при виникненні аварій і ситуацій, які можуть призвести до аварій і нещасних випадків. По закінченні роботи повинно бути вимкнено все електроустаткування, проведена прибирання відходів виробництва та інші заходи, що забезпечують безпеку на ділянці. Ділянка має бути оснащена необхідними попереджувальними плакатами, обладнання повинно мати відповідне забарвлення, повинна бути виконана розмітка проїжджої частини, проїздів. Сама ділянка повинна бути спланований згідно з вимогами техніки безпеки, а саме дотримання: ширини проходів, проїздів, мінімальна відстань між обладнанням. Всі ці відстані повинні бути не менше припустимих.

Щоб запобігти негативному впливу виявлених небезпечних та шкідливих виробничих факторів на здоров'я працівників, попередити виникнення виробничого травматизму при виконання технологічного виготовлення деталі передбачаємо проведення наступних заходів загального характеру: раціональна організація робочих місць; регулярний контроль правильності всіх прийомів праці при виконанні операцій технологічного процесу; своєчасне проведення планово-попереджувальних ремонтів виробничого обладнання та інструменту; підтримування проїздів та проходів в належному порядку; раціональні режими виконання всіх основних та допоміжних операцій технологічного процесу; ефективне використання засобів індивідуального захисту, своєчасний контроль їх стану, дотримання потрібної (встановленої нормами) періодичності їхньої заміни; використання сучасних запобіжних пристроїв і огороження робочих зон; проведення систематичного контролю стану обладнання та допоміжних пристроїв та інших.

## **4.2 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.2.1 Пожежна безпека на об'єкті, що проектується**

Пожежа – це неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що розповсюджується в часі і в просторі та створює загрозу життю і здоров'ю людей, навколишньому середовищу, призводить до матеріальних збитків.

Пожежна небезпека – можливість виникнення та (або) розвитку пожежі в будь-якій речовині, процесі, стані. Коли людина перебуває в зоні впливу пожежі, то вона може потрапити під дію наступних небезпечних та шкідливих факторів: токсичні продукти згорання; вогонь; підвищена температура середовища; дим; недостатність кисню; руйнування будівельних конструкцій; вибухи; витікання небезпечних речовин, що відбуваються внаслідок пожежі; паніка.

Токсичні продукти згорання становлять найбільшу загрозу для життя людини, особливо при пожежах в будівлях. Адже в сучасних побутових та адміністративних приміщеннях знаходиться значна кількість синтетичних матеріалів, що є основними джерелами токсичних продуктів згорання.

Вогонь – надзвичайно небезпечний фактор пожежі, однак випадки його безпосередньої дії на людей досить нечасті. Під час пожежі температура полум'я може досягати 1200-1400°C і у людей, що знаходяться у зоні пожежі випромінювання полум'я можуть викликати опіки та больові відчуття.

Небезпека підвищеної температури середовища полягає в тому, що вдихання розігрітого повітря разом із продуктами згорання може призвести до ураження органів дихання та смерті. В умовах пожежі підвищення температури середовища до 60°C вже є життєво-небезпечною для людини.

Дим являє собою велику кількість найдрібніших часточок незгорілих речовин, що знаходяться в повітрі. Він викликає інтенсивне подразнення органів дихання та слизових оболонок.

Недостатність кисню спричинена тим, що в процесі горіння відбувається хімічна реакція оксидування горючих речовин та матеріалів. Небезпечною для життя людини уже вважається ситуація, коли вміст кисню в повітрі знижується до 14% (норма 21%). При цьому втрачається координація рухів, появляється слабкість, запаморочення, загальмовується свідомість.

Вибухи, витікання небезпечних речовин можуть бути спричинені їх нагріванням під час пожежі, розгерметизацію ємностей та трубопроводів з

небезпечними рідинами та газами. Вибухи збільшують площу горіння і можуть призводити до утворення нових вогнищ.

Руйнування будівельних конструкцій внаслідок втрати ними несучої здатності під впливом високих температур вибухів.

Паніка, в основному, спричинюється швидкими змінами психічного стану людини, як правило, депресивного характеру в умовах екстремальної ситуації (пожежі). Більшість людей потрапляють в складні та неординарні умови, якими характеризується пожежа, вперше і не мають відповідної психічної стійкості та достатньої підготовки щодо цього. Коли дія факторів пожежі перевищує межу психофізіологічних можливостей людини, то остання може піддатись паніці. При цьому втрачається розсудливість, дії стають неконтрольованими та неадекватними. Паніка – це жахливе явище, здатне призвести до масової загибелі людей.

Для успішного проведення протипожежної профілактики на об'єктах, що проектуються важливо знати основні причини пожеж. На основі статистичних даних можна зробити висновок, що основними причинами пожеж є:

- необережне поводження з вогнем;
- незадовільний стан електротехнічних пристроїв та порушення правил їх монтажу та експлуатації;
- порушення режимів технологічних процесів;
- несправність опалювальних приладів та порушення правил їх експлуатації;
- невиконання вимог нормативних документів з питань пожежної безпеки.

Дуже часто пожежі спричинені необережним поводженням з вогнем. Пожежі через виникнення коротких замикань, перевантаження електродвигунів, освітлювальних та силових мереж в наслідок великих місцевих опорів, роботу несправних або залишених без нагляду електронагрівальних приладів складають більше 25% всіх випадків. Короткі замикання виникають внаслідок неправильного монтажу або експлуатації електроустановок, старіння або пошкодження ізоляції. Струм короткого замикання залежить від потужності

джерела струму, відстані від джерела струму до місця замикання та виду замикання. Великі струми замикання викликають іскріння та нагрівання струмопровідних частин до високої температури, що супроводжується займанням ізоляції провідників та горючих будівельних конструкцій, котрі знаходяться поряд. Струмові перевантаження виникають при ввімкненні до мережі додаткових споживачів струму або при зниженні напруги в мережі. Тривале перевантаження призводить до нагріву провідників, що може викликати їх займання.

Температура провідника, що нагрівається при короткому замиканні, визначається за формулою:

$$t = t_H + I_{к.з.}^2 \times \frac{R\tau}{Cm},$$

де  $t_H$  – початкова температура провідника, °С;

$I_{к.з.}$  – сила струму короткого замикання, А;

$R$  – опір провідника, Ом;

$\tau$  – час короткого замикання, с;

$C$  – теплоємність провідника, Дж/(кг×°С);

$m$  – маса провідника, кг.

В комплексі заходів, що використовуються в системі протипожежного захисту, важливе значення має вибір найбільш раціональних способів та засобів гасіння. Горіння припиняється:

- при охолодженні горючої речовини до температури нижчої, ніж температура її займання;
- при зниженні концентрації кисню в повітрі у зоні горіння;
- при припиненні надходження пари, газів горючої речовини у зону горіння.

Припинення горіння досягається за допомогою вогнегасних засобів:

- води (у вигляді струменя або розпиленому вигляді);
- інертних газів (вуглекислота та інші);
- хімічних засобів (у вигляді піни або рідини);
- порошкоподібних сухих сумішей (суміші піску з флюсом);
- пожежних покривал з брезенту та азбесту.

Вибір тих чи інших способів та засобів гасіння пожеж та вогнегасник речовин і їх носіїв визначається в кожному конкретному випадку залежно від стадії розвитку пожежі, масштабів розгортань, особливостей горіння речовин та матеріалів.

Щодня в нашій країні (по статистичним даним) виникає більше 100 пожеж, в яких гине 5-6 чоловік. Наносяться значні матеріальні збитки (прямі та побічні збитки від пожеж складають близько 2 млрд. грн. на рік). Тому протипожежній безпеці повинна приділятися особлива увага не лише на діючих підприємствах, але й при проектуванні об'єктів громадського призначення.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі приведено результати аналізу, теоретичних досліджень та розрахунків систем освітлення та їх електропостачання для шкільних відкритих спортивних майданчиків. На основі проведеного аналізу та отриманих результатів досліджень зроблені наступні висновки:

1. Теоретичний аналіз літературних та інтернет джерел засвідчив, що значна кількість, 87%, шкільних спортивних майданчиків м. Тернополя та Тернопільського району не облаштовані освітлювальними установками. Проте у 9% систем освітлення спортивних площадок дотримана відповідність характеристик світлового середовища нормативам освітленості таких спортивних об'єктів.

2. Проведено аналітичний огляд світлотехнічних та електротехнічних характеристик сучасних світлових приладів, що використовуються спортивного освітлення. Вказано на необхідність використання енергоефективних світлодіодних джерел світла, як найбільш придатних по світлових параметрах та енергоощадних у порівнянні іншими.

3. Розроблено та вдосконалено програми аналізу спектрального складу випромінювання джерел світла за паспортними даними, розрахунку на їх основі реального світлового потоку. Результати їх роботи вказують на похибки в межах  $3 \div 7$  % у значеннях світлового потоку, координат кольоровості, що потрібно враховувати в реальному моделюванні.

4. Сучасний стан цифрового обладнання створює можливість виконання проектування освітлювальних установок у спеціальних пакетах типу «Dialux». Для перевірки точності визначання значень освітленості таких моделей розроблено програми за методами використання світлового потоку та точковим методом у середовища «MathCad», «Maple».

5. На прикладі конкретного майданчика розроблено модель та виконано проект системи освітлення та її електропостачання у середовищі «Dialux».

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мешков В. В. Основы светотехники: Учеб. Пособие для вузов. Ч. 1. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1989. – 368 с., ил.
2. Мешков В. В. Основы светотехники: Учеб. Пособие для вузов. Ч. 2. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1990. – 416 с., ил.
3. Трембач В.В. Световые приборы: Учеб. для вузов по спец. "Светотехника и источники света". – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1992. – 463 с.
4. Справочная книга по светотехнике /Под ред. Ю.Б.Айзенберга/ – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 472 с.
5. Коган Л.М. Дальнейшее развитие оптоэлектронных приборов. Часть II. Излучающие диоды видимого диапазона и устройства на их основе. – Новые компоненты, 1998, №. 5-6 (8), с. 25-27.
6. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. – М.: Энергий. 1985. – 547 с.
7. Юнович А.Э. Свет из гетеропереходов. Природа. /Светотехника/ 2001. №6. С. 38-46.
8. Кнорринг Г.М. Осветительные установки. Л.: – Энергоиздат, Ленинград. отд-ние, 1995.
9. Айзенберг Ю.Б. Основы конструирования световых приборов. М.: Энергоатомиздат. 1996.
10. Скобелев В.М., Афанасьева Е.И. Источники света. 1997.
11. Уэймаус Д. Газорозрядные лампы. М.: Энергия. 1997.
12. Кунго Я.А., Твардовский П.М. Автоматизация управления и регулирования напряжения в осветительных установках. – М.: Энергия, 1999. – 128 с.
13. «Комп'ютерне проектування освітлення спортивних споруд», Назаренко Л. А.; Салтиков В.О.; Васильева Ю. О.; Ляшенко О. М. Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х. : ХНАМГ, 2013. – 217 с.
14. Сви П.М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат. 1992. -240с. Международный светотехнический словарь, 3-е изд. М., 1999.
15. Кнорринг Г.М., – Справочник для проектирования электрического освещения. М.: Госэнергоиздат. 1997.
16. Тиходеев П.М., – Световые измерения в светотехнике. М.: Госэнергоиздат. 1998.



17. СНіП 2-05-08. Природне та штучне освітлення. Будівельні норми і правила. Светотехника. 2008. №2
18. Епанешников М. М., – Электрическое освещение. М.: Госэнергоиздат. 1998.
19. Советы тем, кто работает с Mathcad /КомпьютерПресс/ – 2008. – №3, 6, 2009 – №2.
20. Козлов В. Н., – Технология производства световых приборов. М.: Энергоиздат. 1990.
21. Иванов А. П. Электрические источники света. М. – Л.: Госэнергоиздат, 2001. – 288 с.
22. Очков В. Ф. Mathcad Pro для студентов и инженеров. – М.: КомпьютерПресс, 1999. – 523 с.: ил.
23. Економіка підприємств – Горбонос Ф.В. К.: Центр учбової літератури, 2009. – 250 с.
24. Економіка підприємства – Гетьман О.О. Навчальний посібник. – К.: Центр учбової літератури, 2010. – 200 с.
25. [http://pidruchniki.ws/15840720/ekonomika/ekonomika\\_pidpriyemstva\\_-\\_getman\\_oo](http://pidruchniki.ws/15840720/ekonomika/ekonomika_pidpriyemstva_-_getman_oo)
26. Білявский Г.О., Фундуй Р.С. Основы екологічних знань. – К.: Либідь, 1997. – 288 с.
27. Грибан В.Г., Негодченко О.В. Охорона праці. Навчальний посібник. – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 280 с
28. Основы охорони праці – Жидецкий В.Ц. Навчальний посібник. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 320 с.
29. Расчеты экономической эффективности новой техники: Справочник /Под общ. Ред.. К.М. Великанова/ – Л.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
30. Брегін М.М., Чубатий Ю.О. Моделювання та аналіз характеристик систем освітлення та їх електропостачання для відкритих спортивних майданчиків загальноосвітніх шкіл. Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей ІХ міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25–26 листоп. 2020.) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль: ТНТУ, 2020. – С. 96.