

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Проект освітлення футбольного стадіону в м. Ромни Сумської обл.

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи ЕТс-41

спеціальності 141 – Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Продан П.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Костик Л.М.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Вакуленко О.О.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Тарасенко М.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТс–41. - Т.: ТНТУ, 2022.

Стор. 64; рис. 31; табл. 10; креслень 4; джерел 17; додатків 3 стор.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: «Проект освітлення футбольного стадіону в м. Ромни Сумської області».

Метою роботи є розробка проекту системи освітлення футбольного стадіону категорії 2.

На підставі світлотехнічного та електротехнічного розрахунків запропоновано проект системи освітлення стадіону спортивного комплексу ім. В Окіпного, розміщеного в м. Ромни Сумської обл..

Ключові слова:

ПРОЖЕКТОР, ОСВІТЛЕНІСТЬ, КЕРУВАННЯ, РІВНОМІРНІСТЬ РОЗПОДІЛУ ОСВІТЛЕНОСТІ, РОБОЧИЙ СТРУМ, ВТРАТА НАПРУГИ.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	<b>6</b>
<b>1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ</b>	<b>8</b>
1.1 Системи освітлення футбольних стадіонів	8
1.2 Вимоги щодо освітлення футбольних стадіонів	12
1.3 Постановка завдання кваліфікаційної роботи	17
<b>2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ</b>	<b>18</b>
2.1 Вибір нормованих параметрів системи освітлення, джерел світла та світлових приладів	18
2.2 Вибір системи освітлення стадіону	21
2.3 Система електропостачання освітлювальної установки стадіону	23
2.4 Система керування освітленням стадіону	28
2.5 Висновки до розділу	32
<b>3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ</b>	<b>33</b>
3.1 Світлотехнічний розрахунок системи освітлення стадіону	33
3.2 Електротехнічний розрахунок системи освітлення стадіону	39
3.2.1 Розрахунок електричної освітлювальної мережі на мінімум провідникового матеріалу	39
3.2.2 Розрахунок електричної освітлювальної мережі по струму навантаження та вибір апаратів захисту	46
3.3 Висновки до розділу	49
<b>4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ</b>	<b>51</b>
4.1 Фактори, що впливають на наслідки ураження електричним струмом	51
4.2 Заходи безпеки при експлуатації електроустановок та електрообладнання громадських споруд	54
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b>	<b>58</b>

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

60

**ДОДАТОК 1**

62

## ВСТУП

Невід'ємною частиною забезпечення діяльності спортивної споруди є освітлення, котре є одним із засобів створення можливості проведення тренувань чи ігор на будь-якому спортивному об'єкті. Проектування освітлення об'єктів та споруд спортивного призначення є одним із найскладніших та найвідповідальніших процесів. Складність проектування полягає у відсутності універсальних рішень, оскільки кожна споруду необхідно розглядати окремо за призначенням (для тренувань чи для ігор), за видами спорту, розмірами та розміщеннями ігрових чи тренувальних зон, і найголовніше за необхідними світлотехнічними характеристиками, які повинні бути забезпечені. Крім того, важливим фактором є й можливість встановлення та тип світлових приладів, що в кінцевому результаті має суттєвий вплив на якість гри та комфорт учасників спортивних заходів.

Найбільша популярність серед спортивних споруд належить стадіонам, що зумовлено їх універсальністю в можливості проведення як спортивних заходів із різних видів спорту (футбол, легка атлетика, хокей на траві, регбі), так і заходів іншого характеру (концерти, зібрання). Тому важливим завданням є проектування систем освітлення стадіонів. В даний час найбільша увага приділяється саме футбольним стадіонам через найбільшу популярність цього виду спорту. Вимоги до систем освітлення таких споруд є досить високими, що пов'язано із необхідністю забезпечення високої рівномірності освітленості на досить великих площах.

Крім того підвищений інтерес до футбольних змагань вимагає забезпечення можливості за їх спостереженням не тільки на стадіоні, але й віддалено з допомогою сучасних методів відеоспостереження та телетрансляцій. Це в свою чергу ще більше підвищує вимоги до систем освітлення футбольних арен.

Звідси, при будівництві нових чи реконструкції існуючих стадіонів виникає задача розробки проектів систем їхнього освітлення, котрі б

забезпечували можливість проведення тренувань та ігор в темний час доби і створювали б умови для проведення теле- та відеотрансляцій. Цю задачу можна умовно розбити на підзадачі, котрі полягають у визначенні нормативних параметрів системи освітлення, моделювання та світлотехнічний розрахунок освітлювальної системи із використанням спеціалізованого програмного забезпечення, проектування системи електропостачання та керування роботою приладів системи освітлення.

В даній роботі вирішення цієї задачі приведено на прикладі системи освітлення футбольного стадіону Спортивного комплексу ім. В. Окіпного, розташованого в м. Ромни Сумської обл.

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Системи освітлення футбольних стадіонів

Зазвичай для освітлення футбольних стадіонів, як і будь-яких інших спортивних відкритих об'єктів рекомендується використовувати світлові прилади прожекторного типу, що можна пояснити наступними причинами [1]:

- 1) неможливість розташування опор та щогл зі світловими приладами на території, яку потрібно освітлювати;
- 2) простота та менша вартість експлуатації освітлювальної установки.

Найчастіше для освітлення футбольних стадіонів використовуються щоглові та лінійні системи. Система освітлення із чотирма щоглами (рис. 1.1) є найбільш поширеною.

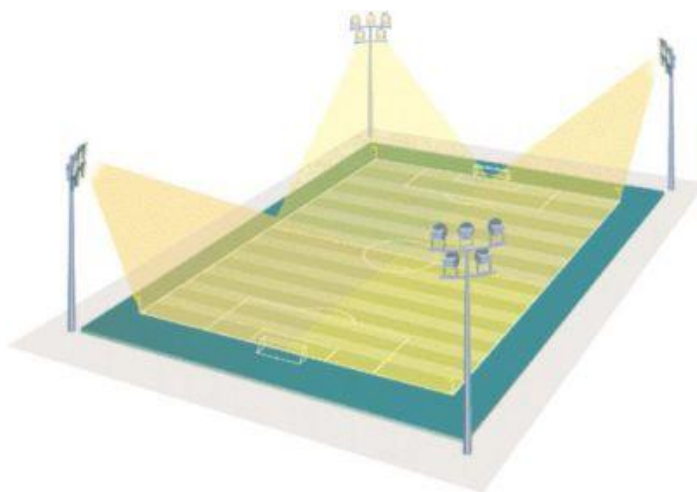


Рисунок 2.1 – Система освітлення із чотирма щоглами

При використанні цієї системи щогли досить великої висоти із світловими приладами встановлюються позаду лицьової лінії поля. Це дає змогу забезпечити умови бачення воротарями самого м'яча, а не його силуету. Задля створення високих рівнів як горизонтальної, так і вертикальної освітленості у площині повздожньої осі футбольного поля, свічення прожекторів спрямовуються на все поле. Саме таке розташування опор та напрями свічення прожекторів дозволяє досягати необхідних рівнів

рівномірності розподілу освітленості по площині ігрової зони. Задля мінімізації засліплення учасників матчів (гравців та суддів), за наявності трибун, щогли розміщуються позаду них або монтуються у їх верхні частини. Прикладом застосування такої системи є система освітлення Тернопільського міського стадіону імені Романа Шухевича (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Зображення Тернопільського міського стадіону імені Романа Шухевича

Перевага застосування такої системи освітлення полягає у нижчій вартості за рахунок низької кількості освітлювальних щогл. До недоліків можна віднести тінестворюючі властивості, котрі полягають у наявності «хресту тіней», котрий створюється від кожного учасника матчу (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Візуалізація «хресту тіней від чотирищоглової системи освітлення»



Крім того такі системи освітлення в даний час застосовуються лише при реконструкції діючих освітлювальних систем стадіонів, коли на діючих щоглах здійснюється заміна прожекторів. При будівництві нових великих стадіонів така система практично не застосовується через необхідність збільшення числа та потужності світлових приладів, що призводить до підвищення капітальних та експлуатаційних затрат.

При новому будівництві стадіонів частіше застосовується система освітлення, до складу котрої входять світлові прилади, котрі монтуються на шести або восьми щоглах (рис. 1.4) [2].

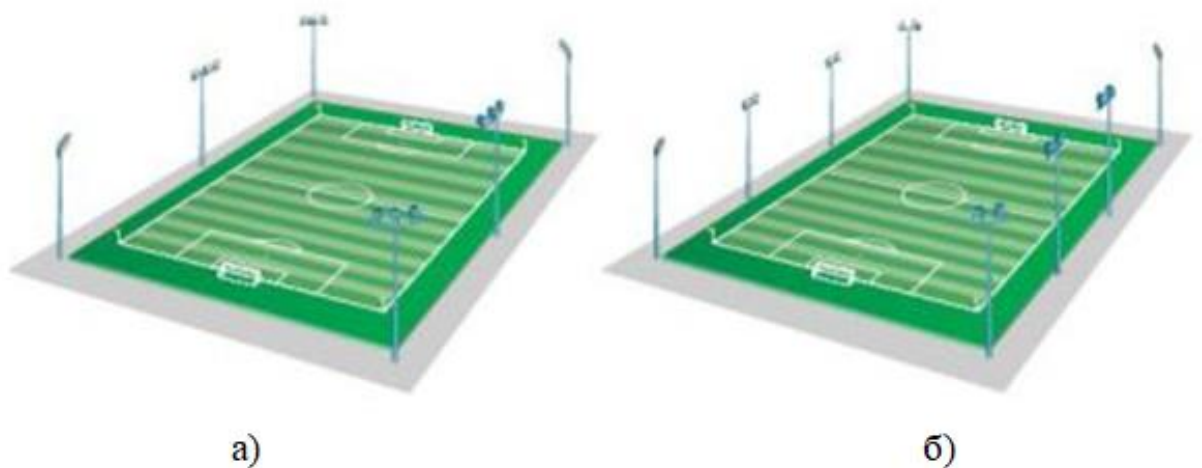


Рисунок 1.4 – Система освітлення із шести (а) та восьми (б) щогл

Використання такої системи освітлення дозволяє пом'якшувати тіні від учасників матчу. За рахунок напрямлення прожекторів на найближчі  $2/3$  або  $1/2$  частин ігрової зони можливим є суттєве збільшення рівня рівномірності горизонтальної та значення циліндричної освітленості.

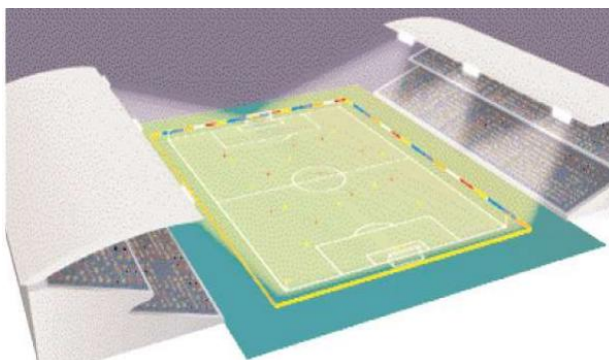
Крім того такі системи освітлення можна використовувати для мінімізації ефекту заливаючого світла, а висота щогл може бути нижчою, ніж для чотирищоглової системи освітлення.

В освітленні стадіонів України така система практично не застосовується, а застосовується для освітлення тренувальних полів (рис. 1.5). Одним із недоліків даної системи є підвищена засліплюваність через попадання в поле зору спостерігача більшої кількості джерел засліплення.



Рисунок 1.5 – Застосування шестищоголової системи для освітлення тренувального поля

При застосуванні на стадіонах накриття над трибунами, на достатній висоті, може застосовуватись лінійна система освітлення (рис. 1.6). При такій системі освітлення установка світлових приладів здійснюється на козирках трибун в один або декілька рядів у вигляді суцільних та світлових ліній з розривами по обидві бічні сторони футбольного поля.



Риунок 1.6 – Лінійна система освітлення футбольного стадіону

Перевагами такої системи освітлення є можливість досягнення найвищої рівномірності розподілу освітленості, в порівнянні із системами освітлення із застосуванням щогл, а також можливість повного усунення тіней від учасників матчу та створення об'ємності, забезпечення комфортних візуальних умов як для гравців, так і для глядачів. Прикладом застосування такої системи є освітлення стадіону НСК «Олімпійський» у м. Київ (рис. 1.7).

Недоліки лінійної системи освітлення полягають у:

досить великій протяжності прожекторних світлових ліній, котрі займають значну частину поля зору, що може створювати підвищене засліплення гравців;

ефекті «зникнення м'яча», що полягає у відсутності бачення м'яча у момент його перетину прожекторної світлової лінії.

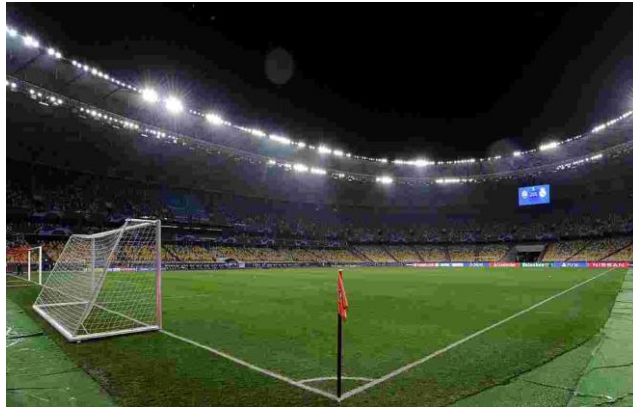


Рисунок 1.7 – Приклад застосування лінійної системи освітлення в освітлювальній установці стадіону НСК «Олімпійський» у м. Київ

Вибір тієї чи іншої системи освітлення залежить від типу та архітектурних особливостей футбольного стадіону, вимог щодо освітленості та її рівномірності розподілу, необхідності проведення відеотрансляцій.

## **1.2 Вимоги щодо освітлення футбольних стадіонів**

Вимоги щодо систем освітлення футбольних стадіонів визначаються на основі європейського стандарту DIN EN 12193. Light and lighting – Sports lighting [3], відповідно до якого нормовані значення світлотехнічних характеристик вказуються в залежності від категорії та рівня змагань, які можуть проводитись на даному спортивному об'єкті. На спортивних об'єктах I рівня можуть проводитись змагання вищої категорії, тобто змагань національного та міжнародного рівнів, причому кількість місць на трибунах може становити 800 і більше. Змагання середнього (регіонального) рівня можна проводити на об'єкті II рівня, а кількість місць на трибунах становить менше,

ніж 800. III рівню відповідають об'єкти, на яких проводяться змагання шкільного рівня, тобто непрофесійних змагань, шкільного спорту і дозвілля.

Вимоги щодо рівнів горизонтальної освітленості, а також щодо рівномірності її розподілу визначаються від класу гри та спортивної споруди. На спортивних спорудах, призначених для тренувань та змагань III рівня, середня горизонтальна освітленість повинна становити не менше 75 лк, а відношення мінімальної освітленості до середньої – не менше 0,5. В ігрових зонах відкритих спортивних об'єктах II рівня відношення мінімальної освітленості до середньої має становити не менше 0,6, а середня освітленість – 200 лк. Для об'єктів I рівня значення середньої освітленості має бути не менше 500 лк, а відношення мінімальної до середньої освітленості – 0,7. Причому для всіх об'єктів показник блискавості повинен становити не більше 0,50.

Для забезпечення можливості здійснення відеозйомки на спотривних об'єктах необхідним є виконання нормативних вимог щодо забезпечення вертикальної освітленості у площинах, які є перепендикулярні до ліній зору відповідних фотокамер. Нормовані значення освітленості, яку потрібно забезпечити для здійснення відеотрансляцій приведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Нормовані значення освітленості на спортивнихз об'єктах, де передбачається ведення відеозйомки

Рівень змагань	Тип камери	$E_v$ , лк	Показники рівномірності		$E_z$ , лк	Показники рівномірності		Корельована колірна температура, К	Індекс кольоропередачі
			$U_1$	$U_2$		$U_1$	$U_2$		
Міжнародний	Прискорена зйомка	1800	0,5	0,7	1500 - 3000	0,6	0,8	понад 5000	80 (90)
	Фіксована камера	1400	0,5	0,7					
	Мобільна камера	1000	0,5	0,7					
Національний	Фіксована камера	1000	0,4	0,6	1000 - 2000			понад 4000	Понад 80

Згідно із Регламентом інфраструктури стадіонів та заходів безпеки проведення змагань з футболу [4] стадіони поділяються на чотири категорії.

Категорія 1 – стадіони, які мають дозвіл на проведення матчів чемпіонатів серед команд клубів Професіональної футбольної ліги України (ПФЛ України) II ліги, молодіжних та юнацьких команд (вікові категорії до 21 та до 19 років відповідно) та розіграшу Кубка України до стадій 1/8 фіналу. До систем освітлення стадіонів цієї категорії, якщо на них передбачається ведення відео трансляцій, висуваються вимоги, наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Вимоги до систем освітлення стадіонів категорії 1

Середня освітленість горизонтальної площини	Від 800 лк
Відношення мінімальної освітленості горизонтальної площини до максимальної	Більше 0,4
Відношення мінімальної освітленості горизонтальної площини до середньої	Більше 0,5
Середня освітленість у вертикальній площині	Більше 350 лк
Мінімальна освітленість у вертикальній площині	Більше 200 лк

До категорії 2 відносяться стадіони, на яких дозволяється проведення матчів чемпіонатів між командами клубів I ліги ПФЛ України, а також матчів розіграшу Кубка України до стадій 1/4 фіналу. До систем освітлення стадіонів цієї категорії, де потрібно забезпечити можливість теле- та відеотрансляцій, висуваються вимоги, наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Вимоги до систем освітлення стадіонів категорії 2

Середня освітленість горизонтальної площини	Від 1200 лк
Відношення мінімальної освітленості горизонтальної площини до максимальної	Більше 0,4
Відношення мінімальної освітленості горизонтальної площини до середньої	Більше 0,6
Середня освітленість у вертикальній площині	Більше 750 лк
Мінімальна освітленість у вертикальній площині	Більше 350 лк
Відношення мінімальної освітленості у вертикальній площині до максимальної	Більше 0,35
Відношення мінімальної освітленості у вертикальній площині до середньої	Більше 0,45

На стадіонах категорії 3 дозволяється проводити матчі чемпіонату України серед клубних команд Української професійної ліги, фінальні матчі розіграшів Кубка та Суперкубку України, а також за погодженням міжнародних футбольних асоціацій ФІФА та УЄФА, офіційних міжнародних матчів. Системи освітлення стадіонів цієї категорії повинні забезпечувати характеристики освітлення, наведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Вимоги до систем освітлення стадіонів категорії 3

Середня освітленість горизонтальної площини	Від 1400 лк
Відношення мінімальної освітленості горизонтальної площини до максимальної	Більше 0,5
Відношення мінімальної освітленості горизонтальної площини до середньої	Більше 0,7
Середня освітленість у вертикальній площині	Більше 1000 лк
Мінімальна освітленість у вертикальній площині	Більше 600 лк
Відношення мінімальної освітленості у вертикальній площині до максимальної	Більше 0,4
Відношення мінімальної освітленості у вертикальній площині до середньої	Більше 0,5

Для стадіонів категорії дозволяється проведення будь-яких матчів під егідою Української асоціації футболу, а за погодженням з ФІФА та УЄФА, також і проведення офіційних міжнародних матчів. Вимоги до систем освітлення спортивних споруд цієї категорії представлено в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Вимоги до систем освітлення стадіонів категорії 4

Середня освітленість горизонтальної площини	Від 1500 лк
Відношення мінімальної освітленості горизонтальної площини до максимальної	Більше 0,5
Відношення мінімальної освітленості горизонтальної площини до середньої	Більше 0,7
Середня освітленість у вертикальній площині	Більше 1250 лк
Мінімальна освітленість у вертикальній площині	Більше 700 лк
Відношення мінімальної освітленості у вертикальній площині до максимальної	Більше 0,4
Відношення мінімальної освітленості у вертикальній площині до середньої	Більше 0,5

У разі необхідності проведення на стадіонах відеозйомок високої чіткості рівень середньої освітленості горизонтальної площини повинен становити не нижче, ніж 2000 лк, середньої освітленості вертикальної площини – не нижче 1500 лк, а мінімальне значення освітленості вертикальної площини – не нижче 1000 лк.

Різниця між освітленостями сусідніх точок (Gradient) не повинна перевищувати 30% для стадіонів, на яких можуть здійснюватись телетрансляції. Мінімальна корельована колірна температура джерел світла повинна становити 4500 К, а рекомендована – від 5000 до 6000 К, мінімальний індекс кольоропередачі – 65, а рекомендований – від 80 до 90.

Для стадіонів, на яких проведення телевізійної зйомки не передбачено, система освітлення повинна забезпечувати мінімальне значення середньої освітленості горизонтальної площини не нижче 350 лк.

З метою гарантування продовження матчу у випадках збою в системах електропостачання, на стадіонах мають бути наявними незалежні резервні джерела живлення, котрі змогли б забезпечити потужність живлення систем освітлення, щоб для стадіонів категорій 1 – 3 інтенсивність освітлення була б не меншою, ніж дві третіх інтенсивності при безаварійному режимі роботи, а для стадіонів категорії 4 – ніж повна інтенсивність при безаварійному режимі роботи.

Крім того, для створення необхідного рівня безпеки персоналу та глядачів на стадіоні необхідним є встановлення системи аварійного освітлення. Завдання системи аварійного освітлення стадіону полягають у:

- забезпеченні достатніх рівнів освітленості для виявлення небезпек та перешкод;
- створенні достатнього рівня освітленості щоб забезпечити ефективну роботу систем відеоспостереження;
- мінімізація або усунення відблисків чи мерехтіння, що можуть маскувати або спричиняти ризик;
- повна придатність для використання в навколишньому середовищі;

- оптимальне розташування для мінімізації ризику виникнення пожежі;
- правильному розташуванні задля забезпечення можливості своєчасного технічного обслуговування і ремонту.

### **1.3 Постановка завдання кваліфікаційної роботи**

Предметом проектування в даній роботі є система освітлення відкритих спортивних споруд спортивного комплексу ім. В. Окіпного, розташованого в м. Ромни Сумської обл. за адресою бульв. Шевченка 4. Даний комплекс відкритих спортивних споруд містить ігровий футбольний стадіон, а також тренувальний спортивний майданчик. Тому метою даної роботи є розробка системи освітлення стадіону цього відкритого, котра б забезпечувала необхідні світлотехнічні параметри, котрі висуваються вимогами до освітлювальних установок такого типу.



## 2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Вибір нормованих параметрів системи освітлення, джерел світла та світлових приладів

Оскільки передбачається, що згідно із Регламентом інфраструктури стадіонів та заходів безпеки проведення змагань з футболу стадіон спортивного комплексу імені В. Окіпного відповідатиме стадіонам категорії 2, то передбачимо два режими освітлення: режим із відеозйомкою та режим без відеозйомки. Для ігрового режиму із веденням відеозйомки система освітлення повинна забезпечувати світлотехнічні характеристики на основі вимог, приведених в табл. 1.3, а саме:

середня освітленість горизонтальної площини – 1200 лк;

відношення мінімальної освітленості горизонтальної площини до максимальної – 0,4;

відношення мінімальної освітленості горизонтальної площини до середньої – 0,6;

середня освітленість у вертикальній площині – 750 лк;

мінімальна освітленість у вертикальній площині – 350 лк;

відношення мінімальної освітленості у вертикальній площині до максимальної – 0,35;

відношення мінімальної освітленості у вертикальній площині до середньої – 0,45.

Для ігрового режиму без ведення відео зйомки середня освітленість горизонтальної поверхні повинна становити не менше 350 лк.

Вибір джерел світла обґрунтуємо на основі вимог, які висуваються до освітлювальних систем стадіонів, на яких забезпечуються умови для здійснення відео трансляцій, а саме рекомендована корельовано колірною температура повинна становити в діапазоні від 5000 до 6000 К, а індекс кольоропередачі – від 80 до 90.

Крім того освітлювальна система стадіону, як і будь-якого іншого об'єкту, повинна задовольняти вимоги щодо енергоефективності, надійності, тривалості експлуатації, екологічності. Тому в якості джерел світла для освітлювальної системи стадіону вибираємо світлодіоди, переваги яких над тепловими та розрядними джерелами світла полягають у [5]:

різноманітності спектральних характеристик випромінювання (рис 2.1 [6]), а отже широкому ряду корельованої колірної температури;

широкому діапазон індексу кольоропередачі (від 70 до 95);

високій енергетична ефективності (для світло діодів світлова віддача становить від 150 до 250 лм/Вт, тоді як світлова віддача ламп типу ДНаТ – 150 лм/Вт);

тривалому терміну служби – від 50 до 100 тис. год, коли для газорозрядних ламп термін служби становить до 25 тис. год;

практично відсутній пульсації світлового потоку;

екологічності, котра полягає у відсутності необхідності спеціальних методів утилізації, на відміну від розрядних ламп, котрі в своєму складі містять ртуть;

мінімальній тривалості на перезапалювання.

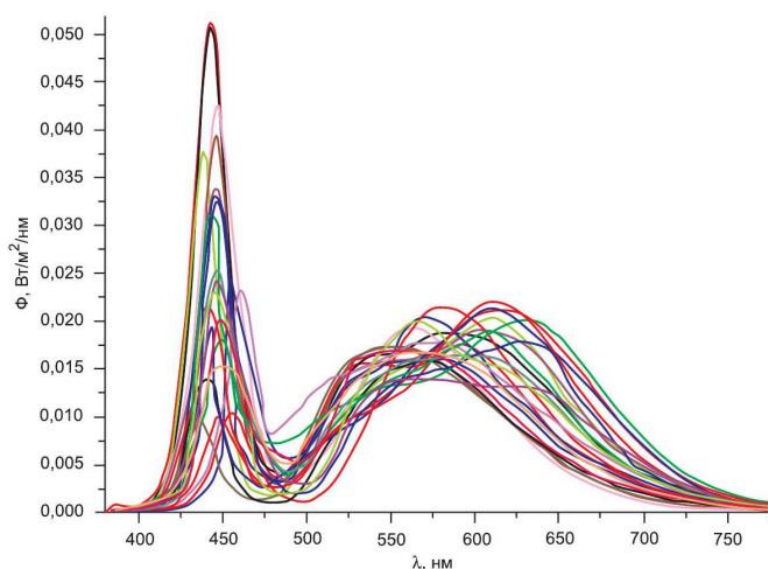


Рисунок 2.1 – Спектральні характеристики випромінювання світло діодів білого свічення

На основі таких джерел світла вибираємо світлові прилади прожекторного типу, а саме прожектори ДСУ05 У (модель А-мах), зображення якого показано на рис. 2.2. Це універсальний по своєму застосуванні тип прожекторів, а основним його призначенням є освітлення великих відкритих площ, а саме спортивних комплексів, територій будівництв, транспортних та сільськогосподарських та об'єктів кар'єрного типу, а також великих приміщень виробничих, сільськогосподарських та складських будівель. Технічні характеристики цього прожектора приведено в табл. 2.1 [7].



Рисунок 2.2 – Зображення світлового приладу прожекторного типу ДСУ05У (модель А-мах)

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики прожектора ДСУ05У (модель А-мах)

Потужність, Вт	Від 150 до 1400
Світловий потік, лм	Від 20250 до 189000
Світлова віддача, лм/Вт	135
Кут розсіювання, °	Від 15 до 100
Корельована колірна температура, К	Від 3000 до 6000
Коефіцієнт активної потужності	0,95
Діапазон робочої напруги:	Від 120 до 275
Клас електрозахисту	I
Діапазон робочих температур	-40 ... +60 °С
Ступінь пилового захисту	IP65

Для освітлення стадіону застосуємо прожектори потужністю 1400 Вт та корельованою колірною температурою 5000 К.

## 2.2 Вибір системи освітлення стадіону

Для освітлення стадіону даного спорткомплексу найдоцільнішим є використання чотирищоголової системи освітлення, що зумовлене суттєво нижчою вартістю за рахунок меншої кількості щогл (в порівнянні із шести- або восьмищоголовою системою освітлення) та неможливістю застосування лінійної системи.

При розташуванні щогл такої системи освітлення необхідним є виконання наступних вимог (рис. 2.3) [1]:

- кут між лініями, що з'єднують точки розміщення основ щогл із серединами ближніх воріт та ближньою лицьовою лінією має бути не меншим, ніж  $10^\circ$ .

- кут між лініями, котрі сполучають точки розміщення основ щогл з серединою ближчої бокової лінії повинен становити не менше  $5^\circ$ .

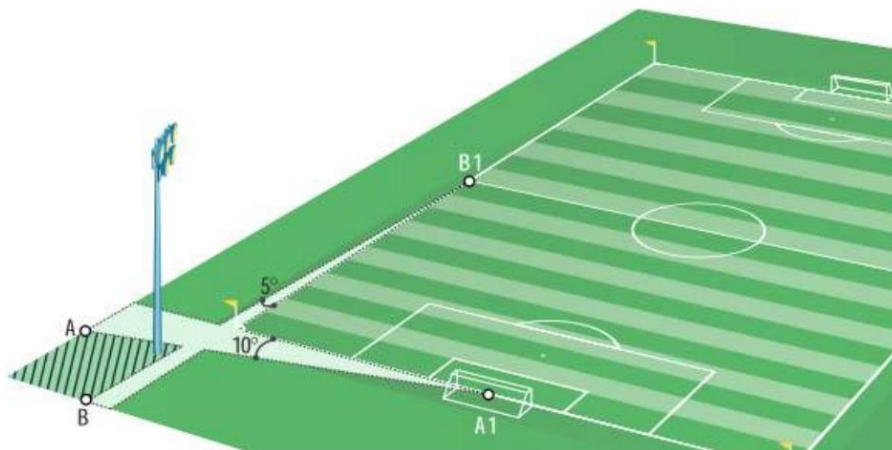


Рисунок 2.3 – Схематичне представлення вимоги щодо розташування щогл при чотирищоголовій системі освітлення

Відповідно до цих вимог, мінімальну відстань  $\Delta y_{\min}$  між опорою та боковою стороною футбольного поля можна визначити за формулою:

$$\Delta y_{\min} = \frac{l}{2} \cdot \operatorname{tg}(5^\circ), \quad (2.1)$$

а відстань  $\Delta x_{\min}$  між опорою та лицевою стороною:

$$\Delta x_{\min} = \frac{w}{2} \cdot \operatorname{tg}(10^\circ), \quad (2.2)$$

де  $l$ ,  $w$  – відповідно довжина та ширина футбольного поля.

Прийнявши те, що  $l=106$  м,  $w=68$  м, та підставивши ці значення у вирази (2.1) та (2.2), отримаємо:

$$\Delta y_{\min} = \frac{106}{2} \cdot \operatorname{tg}(5^\circ) = 4,64 \text{ м,}$$

$$\Delta x_{\min} = \frac{68}{2} \cdot \operatorname{tg}(10^\circ) = 6,0 \text{ м.}$$

Для даного футбольного стадіону, враховуючи ще можливість розміщення щогл попередньо вибираємо  $\Delta x = 12,0$  м,  $\Delta y = 5,0$  м.

Мінімальна висота щогл  $H_{\min}$  визначається за формулою:

$$H_{\min} = d \cdot \operatorname{tg}(25^\circ), \quad (2.3)$$

де  $d = \sqrt{\left(\frac{l}{2} + \Delta x\right)^2 + \left(\frac{w}{2} + \Delta y\right)^2}$  – відстань від основи щогли до центра поля (рис 2.4).

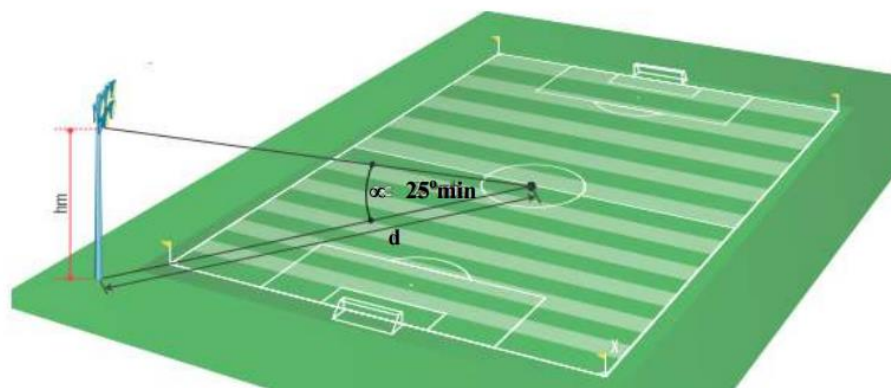


Рисунок 2.4 – Геометрична схема визначення мінімальної висоти щогли

Розрахувавши значення  $d$ , та підставивши його у формулу (2.3), отримаємо

$$d = \sqrt{\left(\frac{106}{2} + 12\right)^2 + \left(\frac{68}{2} + 5\right)^2} = 74,9 \text{ м,}$$

$$H_{\min} = 74,9 \cdot \text{tg}(25^\circ) = 34,9 \text{ м.}$$

Приймаємо мінімальну висоту розміщення прожекторів такою, що дорівнює 35 м.

### 2.3 Система електропостачання освітлювальної установки стадіону

Електропостачання освітлювальної установки стадіону передбачимо від існуючого ГРП-0,4 кВ стадіону. План зовнішніх мереж постачання приведено на рис. 2.5.

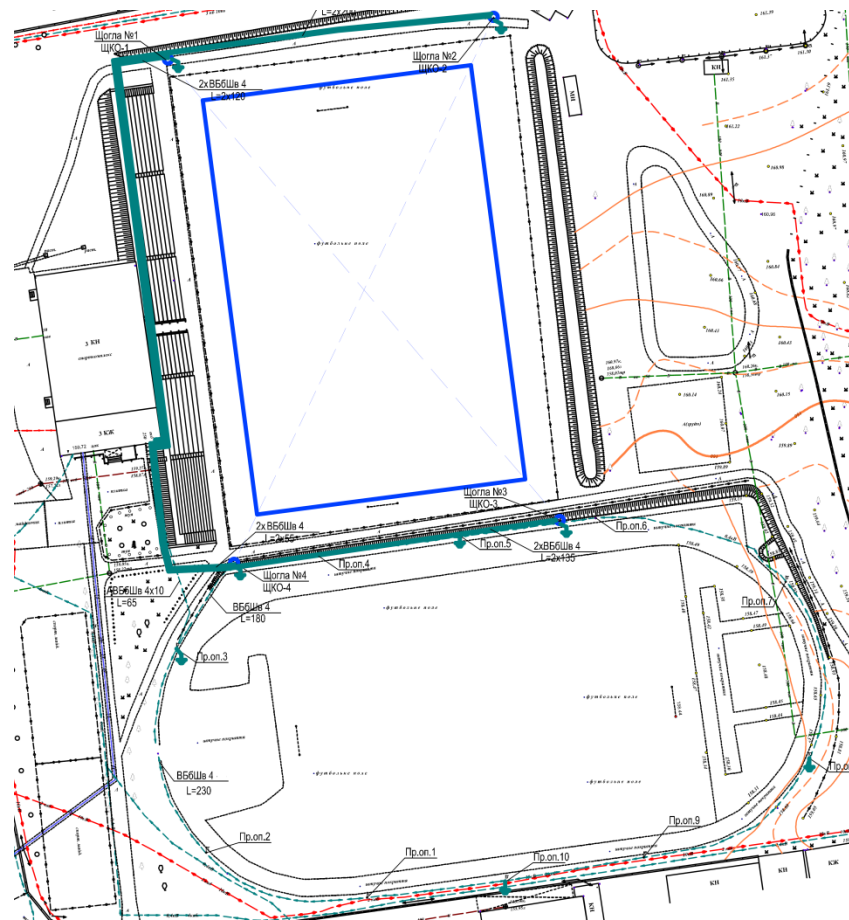


Рисунок 2.5 – План зовнішніх мереж електропостачання стадіону

Для підведення електричної енергії до прожекторних щогл світлових приладів системи освітлення стадіону, а також прожекторних опор системи освітлення тренувального майданчика пропонується використати мідні броньовані кабелі типу ВБШв із полівінілхлоридною ізоляцією. Даний тип кабелю рекомендується для прокладання відкритих просторах, а також в землі, шахтах, тунелях або каналах. Тому найчастіше такий кабель застосовується в місцях, де присутня висока ймовірність механічних пошкоджень [8]. Для живлення світлових приладів на щоглах та на опорах пропонується використати кабель типу ВВГнг [9]. Довжини та марки кабелів, прокладених від ГРП-0,4 кВ до опор та щогл, а також від щитів керування освітленням до прожекторів на щоглах подано в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Довжини та марки кабелів для живлення системи освітлення стадіону

Ділянка	Тип кабелю	Кількість жил	Довжина, м	Кількість кабелів
ГРП-0,4 кВ – ЩКО1	ВБШв	4	120	2
ГРП-0,4 кВ – ЩКО2			200	
ГРП-0,4 кВ – ЩКО3			135	
ГРП-0,4 кВ – ЩКО4			55	
ГРП-0,4 кВ – прожекторні опори			65	1
Живлення прожекторних опор 3 – 7			180	
Живлення прожекторних опор 1, 2, 8 – 10			230	
ЩКО 1 – 4 – прожектори на щоглах	ВВГнг	3	35	24
			36	
			37	
			38	
Прожектори на опорах			4	11

Кількість жил кабелів вибирали, виходячи із вимог, наведених в Правилах улаштування електроустановок [10], в котрих вказано, що в системах живлення електричних мереж зовнішнього освітлення електроустановок із напругою до 1 кВ рекомендовано використовувати систему заземлення типу TN-C.

Особливістю даної системи є те, що в ній основною шиною заземлення є глухо заземлена нейтраль, котра за допомогою додаткових нульових проводів з'єднується зі всіма відкритими деталями, а також корпусами та частинами світильників, котрі можуть проводити електричний струм. В такій розподільчій системі PEN-провідник виконує одночасно функції нульового робочого та захисного провідників на всій протяжності системи (рис. 2.6) [11].

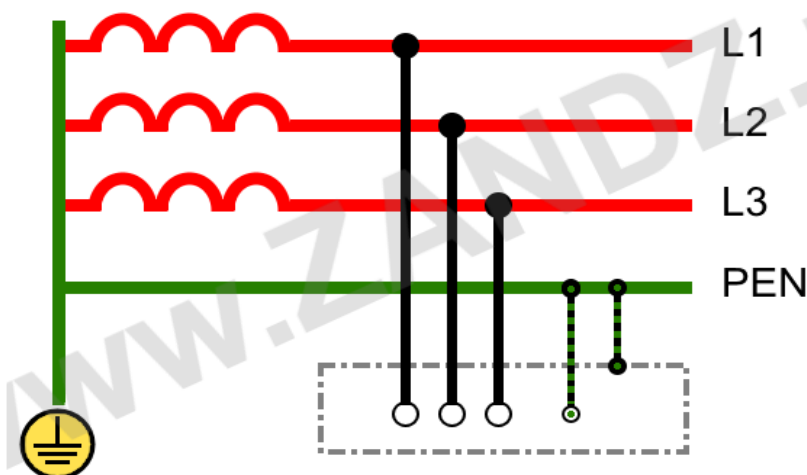


Рисунок 2.6 – Схема розподільчої системи типу TN-C

Технологію укладання кабелів 0,4 кВ приведено на рис. 2.7. При прокладці кабелів в орній землі необхідним є використання сигнальної стрічки, котру вимагається прокладати в траншеї над кабелями на відстані 250 мм від їх зовнішніх покривів. Призначення сигнальної стрічки полягає в попередженні про наявність кабельної лінії при проведенні земляних робіт в її районі. При прокладанні одного кабелю стрічка укладається по його осі.

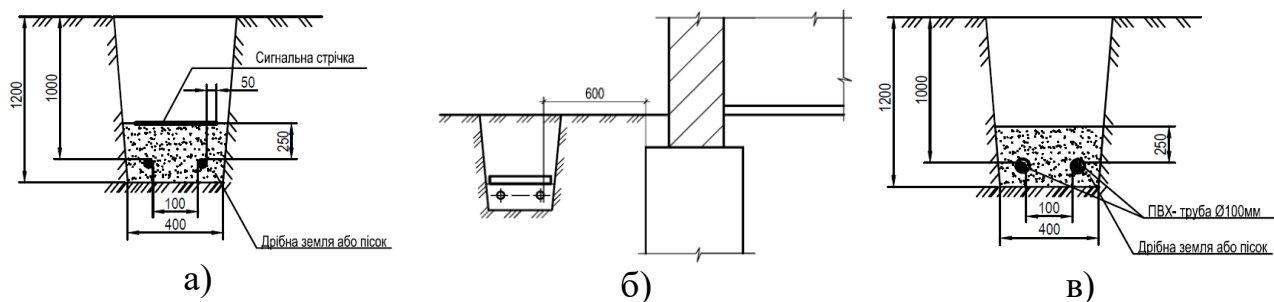


Рисунок 2.7 – Технологія укладання кабелів 0,4 кВ: в орній землі із сигнальною стрічкою (а), паралельно до фундаментів будівель і кабельних спорудах (б), в ПВХ трубі (в)



По надійності електропостачання системи освітлення поділяють на три категорії [5, 12]:

I – освітлювальні установки, перерва електропостачання котрих не допускається або допускається лише на час автоматичного включення резерву;

II – освітлювальні установки, для яких допускається перерва в електропостачанні, проте лише на час, необхідний для ручного увімкнення черговою бригадою або резервно-черговим персоналом;

III – всі інші освітлювальні установки, для котрих допускається перерва в живленні протягом часу ремонту або заміни пошкодженого елемента протягом не більше однієї доби.

По надійності електропостачання система освітлення стадіону відноситься до II категорії, а спортивного майданчика – до III категорії по надійності електропостачання. Згідно із [10] електроспоживачів II категорії вимагається забезпечувати електропостачанням від двох взаємонезалежних джерел живлення, а III категорії – від одного джерела живлення. Тому для живлення світлових приладів освітлення стадіону та тренувального майданчика використаємо систему живлення, схему якої приведено на рис. 2.8.

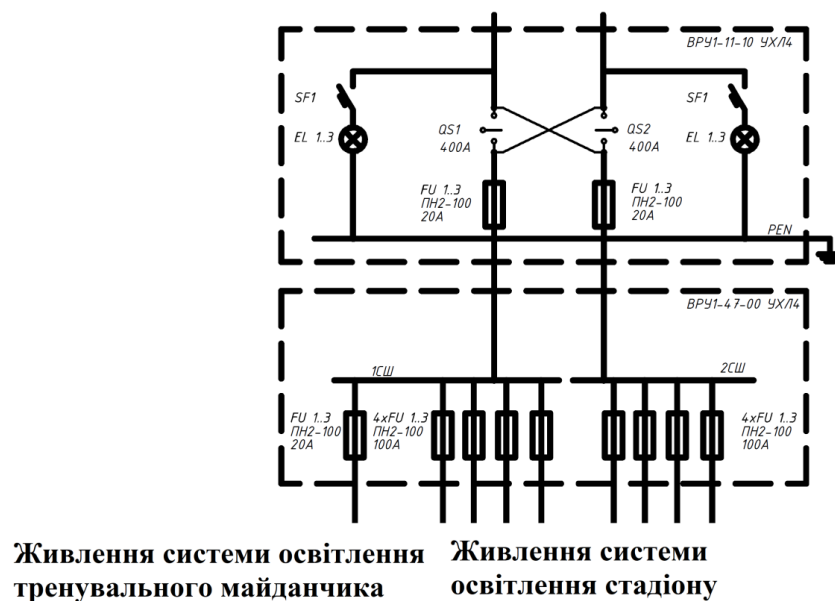


Рисунок 2.8 – Система живлення світлових приладів освітлення стадіону та тренувального майданчика

Живлення систем освітлення передбачається від двох ввідно-розподільчих пристроїв ВРУ1-11-10 УХЛ4 та ВРУ1-47-00 УХЛ4. У ВРУ1-11-10 УХЛ4 перемикання живлення навантаження з основного вводу на резервний здійснюється за допомогою перекидних рубильників (роз'єднувачів QS1 та QS2). Світлові прилади від ВРУ1-47-00 УХЛ4 живляться через секційні шини 1СШ та 2 СШ, зокрема через шину 1СШ виконується живлення світлових приладів системи освітлення тренувального майданчика та основне живлення щитів ЩКО 1 – 4, а через шину 1 СШ – резервне живлення щитів ЩКО.

З метою забезпечення безперебійного живлення світлових приладів системи освітлення стадіону в щитах керування освітленням передбачимо встановлення шафи автоматичного вмикання резерву, схему котрого приведено на рис. 2.9.

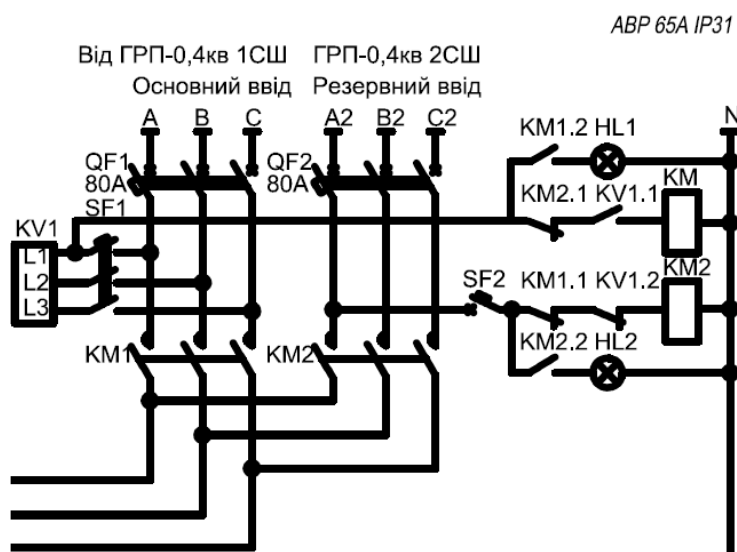


Рисунок 2.9 – Схема автоматичного включення резерву

Принцип дії даної схеми полягає в наступному. При нормальному режимі живлення світлових приладів здійснюється через основний ввід, а резервний ввід є відімкненим і контакти контактора KM2.1 знаходяться у замкнутому положенні, що підготує коло на увімкнення контактора KM1. При подачі живлення через автоматичний вимикач QF1 трифазна симетрична напруга подається на реле контролю фаз KV1, і у випадку відсутності перекосу, правильного чергування та відсутності злипання фаз відбувається

спрацьовування цього реле, а його контакти: контакт KV1.1 в колі увімкнення контактора KM1 замикається, а в колі контактора KM2 (контакт KV1.2) – розмикається. Свічення сигнальної лампи HL1, що створюється внаслідок замикання контакту KM1.2 сигналізує про спрацьовування контактора KM1. При порушенні живлення на основному ввіді контакт реле KV1.1 розриває коло живлення контактора KM1, внаслідок чого розмикається контакт KM1.2 та силові контакти KM1. В цей час контакти KM1.1 та KV1.2 переходять в замкнуте положення в колі контактора KM2. Якщо автоматичний вимикач SF2 знаходиться в увімкнутому положенні, то замикаються силові контакти контактора KM2 та контакт KM2.2, що призводить до увімкнення сигнальної лампи HL2. При відновленні та досягненні необхідного рівня напруги в основному ввіді знову спрацьовує реле KV1 і контакт KV1.1 замикається, а контакт KV1.2 розмикається, що призводить до розмикання силових контактів KM2, контакту KM2.2 та замикання контакту KM2.1, внаслідок чого знову спрацьовує контактор KM1.

Отже, таким чином можна забезпечити безперебійне живлення світлових приладів освітлювальної системи стадіону.

#### **2.4 Система керування освітленням стадіону**

Для забезпечення можливості проведення матчів та тренувань при освітленостях, які відповідно дорівнюють 1200 та 350 лк застосуємо систему керування роботи прожекторів, розміщених на прожекторних щоглах, схему якої приведено на рис. 2.10. Живлення прожекторних установок здійснюється за рахунок замикання силових контактів контакторів KM4 та KM3, котрі забезпечують подачу напруги відповідно на прожектори освітлювальної системи, котра застосовується для проведення тренувань, та усієї решти прожекторів. При перебуванні перемикача SA в положенні «1» і натисканні кнопки «ПУСК» спрацьовує котушка контактора KM3, в результаті чого замикається контакт KM3.1 та силові контакти контактора KM3., що

призводить до увімкнення прожекторів, котрі не застосовуються в системі освітлення тренувань. Одночасно з цим замикається нормально розімкнутий контакт КМ3.2 та розмикається нормально замкнений контакт КМ3.3. Внаслідок замикання контакту КМ3.2 в колі контактора КМ4 відбувається спрацювання механізму цього контактора, внаслідок чого замикаються його силові контакти та контакт КМ4.1, котрий участі в роботі даної системи в даному випадку не приймає, оскільки ділянка схеми, де він знаходиться є розірваною через розімкнений контакт КМ3.3. Таким чином вмикаються усі прожектори системи освітлення стадіону, котра дозволяє забезпечити освітленість 1200 лк. При натисканні кнопки Вимкати цю систему освітлення можна шляхом натискання кнопки «СТОП» або переведенням перемикача SA в положення «0».

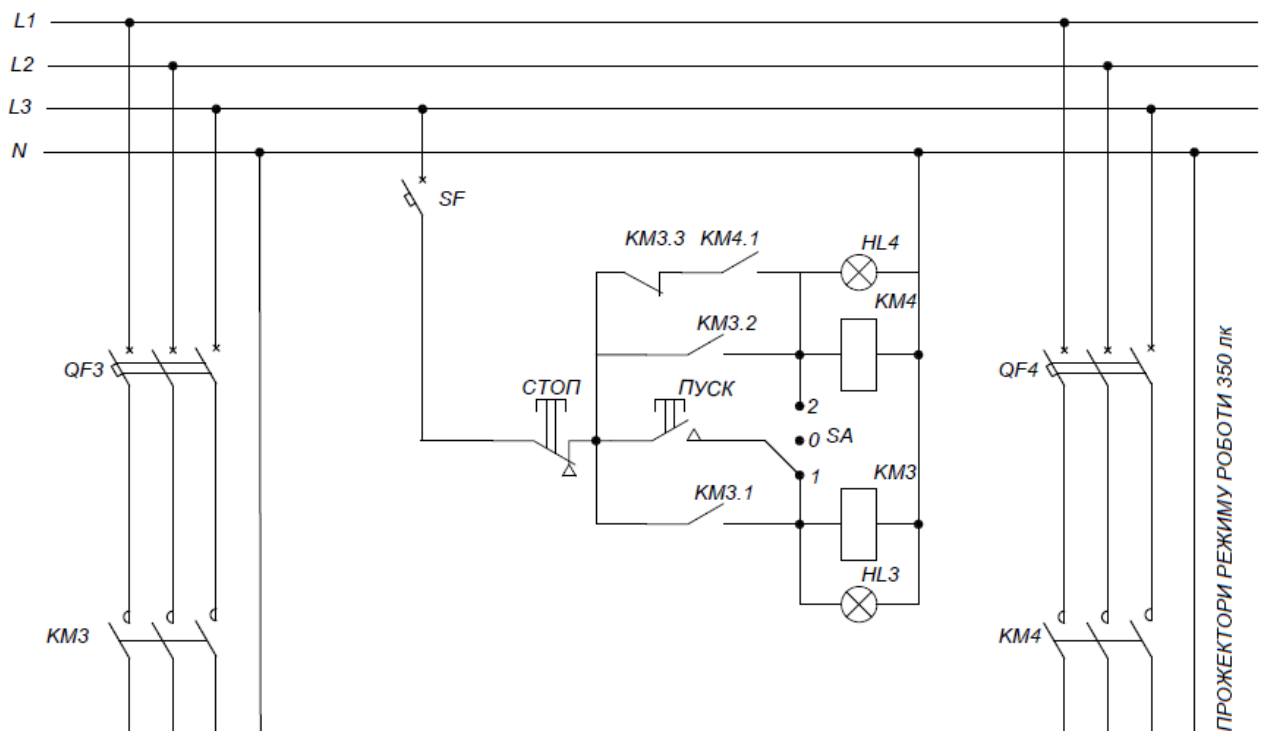


Рисунок 2.10 – Схема системи керування роботою прожекторів системи освітлення стадіону

Для живлення прожекторів, котрі освітлюють стадіон під час тренувань, тобто створюють освітленість 350 лк, перемикач SA необхідно перевести у

положення «2» та натиснути кнопку «ПУСК». В цьому випадку відбудеться замикання силових та контакту КМ4.1 контактора КМ4. Обриву ділянки схеми цього контакту не відбувається, оскільки контакт КМ3.3 є нормально замкненим, а живлення котушки контактора КМ3 відсутнє. Вимкнення системи освітлення прожекторів, котрі забезпечують освітленість 350 лк здійснюється аналогічно, як і у випадку живлення прожекторів освітлювальної системи 1200 лк. Сигнальні лампи НЛ3, НЛ4 застосовуються для інформування про роботу відповідної системи освітлення. Використання такої схеми дозволяє здійснювати керування роботою освітлювальної установки із щитів ЩКО або із центрального щита керування.

Для віддаленого керування роботою освітлювальної установки тренувального майданчика пропонується схема включення прожекторів, котра приведена на рис. 2.11.

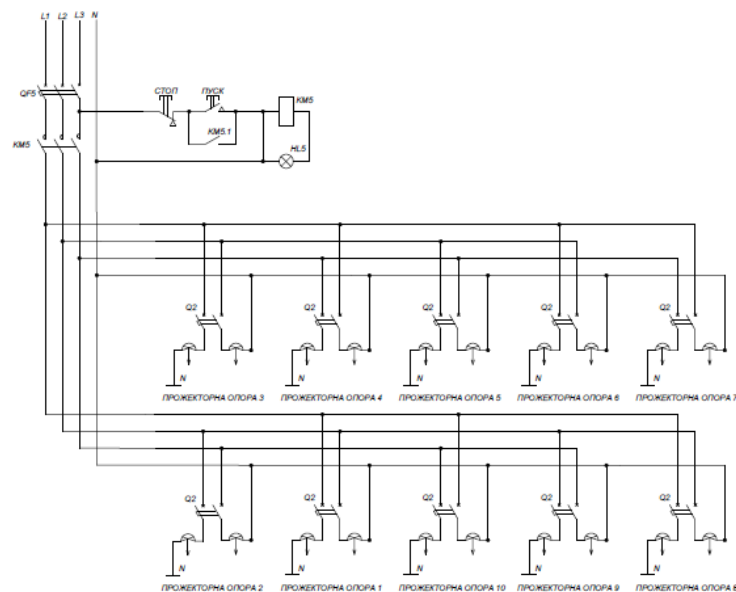


Рисунок 2.11 – Схема керування увімкненням та вимкненням системи освітлення тренувального майданчика

При натисканні кнопки «ПУСК» відбувається замикання силових контактів та контакту КМ5.1 контактора КМ5, в результаті чого подається живлення на прожектори, розміщені на прожекторних опорах. Вимкнення

системи освітлення відбувається внаслідок натискання кнопки «СТОП». Інформацію щодо елементів системи керування подано в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Елементи системи керування роботою освітлювальної установки

Позначення на схемі	Найменування	Тип	Кількість
<b>АВР</b>			
KV1	Реле контролю напруги	EU302 Hager	1
KM1, KM2	Контактор 3-х полюсний 63 А	ESB63-30N-06	8
	Блок додаткових контактів 1нр+1нз	EH04-11	8
QF1, QF2	Вимикач автоматичний 3-ф	BA47-100 3P 80 А	8
SF1	Вимикач автоматичний 3-ф	S203 C6	4
SF2	Вимикач автоматичний 1-ф	S201 C6	4
<b>Система керування роботою прожекторів системи освітлення стадіону</b>			
SF	Вимикач автоматичний 1-ф	S201 C6	4
QF3	Вимикач автоматичний 3-ф	BA47-100 3p 50 А	4
QF4	Вимикач автоматичний 3-ф	BA47-100 3p 25 А	4
Q1	Вимикач автоматичний 1-ф	S201 C10	96
KM3	Контактор 4-х полюсний 40 А	ESB63-40N-06	4
	Блок додаткових контактів 1нр+1нз	EH04-11	4
KM4	Контактор 4-х полюсний 25 А	ESB25-40N-06	4
HL3, HL4	Лампа індикатор (зелений)	BLS50-BU-K06	8
«СТОП»	Кнопка без фіксації	SB-7 «Стоп»	4
«ПУСК»	Кнопка без фіксації	LAY5-BA31	5
<b>Система керування роботою прожекторів системи освітлення спортивного майданчика</b>			
QF5	Вимикач автоматичний 3-ф	BA47-29 3p 10 А	1
KM4	Контактор 4-х полюсний 25 А	ESB25-40N-06	1
Q1	Вимикач автоматичний 2-ф	HL-C10/2 2P 10 А	10
HL3, HL4	Лампа індикатор (зелений)	BLS50-BU-K06	1
«СТОП»	Кнопка без фіксації	SB-7 «Стоп»	1
«ПУСК»	Кнопка без фіксації	LAY5-BA31	1

## 2.5 Висновки до розділу

1. Встановлено, що об'єкт проектування відповідає стадіонам категорії 2, на підставі чого визначено рівні нормованої освітленості. В залежності від типу спортивних заходів, які будуть відбуватись на стадіоні середня освітленість горизонтальної площини при проведенні тренувань повинна становити не менше 350 лк, а при проведенні матчів – 1200 лк.

2. В якості світлових приладів вибрано напівпровідникові прожектори типу ДСУ05 У (модель А-тах), а в якості системи освітлення – чотирищоглову систему. На підставі вимог та місць можливого встановлення прожекторних щогл, шляхом розрахунку встановлено, що найменша висота улаштування прожекторів на щоглах має становити 35 м.

3. Встановлено, що по надійності електропостачання освітлювальна установка тренувального майданчика відноситься до III категорії, а стадіону – до II категорії, на основі чого вибрано їх системи живлення.

4. Оскільки згідно із Регламентом інфраструктури стадіонів та заходів безпеки проведення змагань з футболу вимагається безперебійна робота системи освітлення під час проведення ігор, то для системи освітлення стадіону передбачено автоматичне введення резерву. Крім того запропоновано систему керування роботою прожекторів, котра дає змогу вмикати одну із систем освітлення стадіону у випадках проведення тренувань чи матчів.

## 3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Світлотехнічний розрахунок системи освітлення стадіону

Світлотехнічний розрахунок освітлювальних установок із світловими приладами прожекторного типу виконується на основі точкового методу за допомогою співвідношень, котрі є справедливими для точкових джерел світла. Однак, така методика розрахунку має деяку специфіку, котра полягає у складності визначити значення сили світла в напрямку до розрахункової точки за рахунок невеликих значень кутів між оптичними осями прожекторів та горизонтом [13]. Крім того при застосуванні прожекторів дальньої дії, які мають малі кути розсіювання (від 3 до 5°), найменші неточності у визначенні кутів максимального значення сили світла, а також сили світла у напрямку до розрахункової точки може привести до значних похибок [5].

За допомогою методу коефіцієнта використання можна розрахувати кількість прожекторів  $N$ , котра є необхідною для створення необхідної середньої освітленості  $E$ . Основна формула цього методу [1]:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\Phi \cdot \eta \cdot U \cdot z}, \quad (3.1)$$

де  $S$  – площа об'єкта, котру потрібно освітити;

$K_3$  – коефіцієнт запасу, котрий визначається відношенням освітленостей на початку та наприкінці терміну експлуатації або перед черговою чисткою світлових приладів;

$\Phi$  – світловий потік джерел випромінювання, котрі використовуються в прожекторах;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії прожектора;

$U$  – коефіцієнт використання світлового потоку;

$z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення.

Складність розрахунку за допомогою вищенаведеного методу полягає у



відсутності точних даних щодо коефіцієнта використання, що може призводити до виникнення суттєвих похибок. Тому світлотехнічний розрахунок виконаємо за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, а саме програмного пакету DIALux.

Перед проведенням моделювання освітлювальної установки та її розрахунку в пакет DIALux вносимо або завантажуюмо наступні дані:

- футбольне поле довжиною 106 м та шириною 68 м розміщуємо таким чином, щоб його центр співпадав з початком координат в середовищі DIALux;
- вводимо коефіцієнт зменшення 0,8, що відповідає коефіцієнту запасу 1,25.
- в якості розрахункових поверхонь створюємо розрахункові растри розмірами 106 м на 68 м з кількістю точок відповідно 21 на 15 з розрахунком горизонтальної освітленості на рівні підлоги, вертикальної освітленості на висоті 0,75 м та вертикальної освітленості на висоті 1,0 м, орієнтованої на камеру, котра розташована посередині поля на відстані 11,4 м від бокової лінії поля та на висоті 6,0, тобто в точці з координатами (0, -46, 6);
- завантажуюмо розрахункові файли ies прожекторів ДСУ05У (модель А-тах).

Шляхом моделювання та світлотехнічного розрахунку системи, котра призначена для освітлення стадіону під час проведення тренувань отримано наступні результати для горизонтальної площини:

- мінімальна освітленість – 259 лк;
- середня освітленість – 358 лк (нормоване значення 350 лк);
- максимальна освітленість – 521 лк;
- відношення мінімальної освітленості до середньої – 0,72;
- відношення мінімальної освітленості до максимальної – 0,50.

Графік розподілу освітленості по горизонтальній поверхні, розміщеній на рівні підлоги приведено на рис. 2.1. На основі результатів розрахунку можна стверджувати, що дана система освітлення забезпечує виконання світлотехнічних вимог, котрі висуваються до футбольних тренувальних

об'єктів.

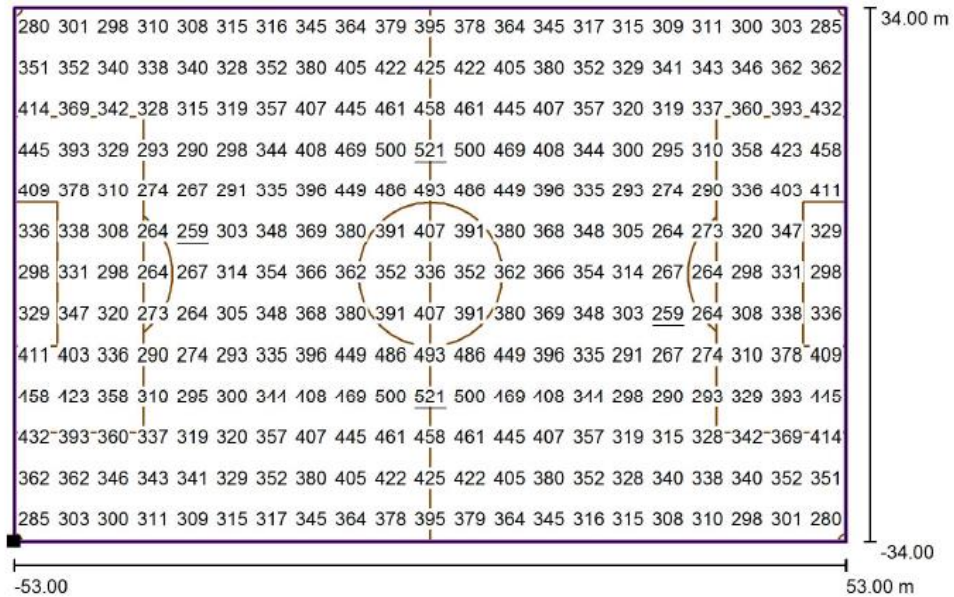


Рисунок 3.1 – Графік розподілу освітленості по горизонтальній поверхні від системи освітлення, призначеної для проведення тренувань

Таку освітленість можна отримати при застосуванні 32 прожекторів типу ДСУ05У (модель А-тах) потужністю 1400 Вт, зокрема 4 прожекторами типу ДСУ05У-1400-411 та 28 прожекторами ДСУ05У-1400-1-411, розміщених рівномірно по кількості на чотирьох щоглах. Криві сили світла прожекторів ДСУ05У (модель А-тах) показано на рис. 3.2, а координати їх розміщення та координати точок напрямку їх осьових сил світла приведено в додатку 1.

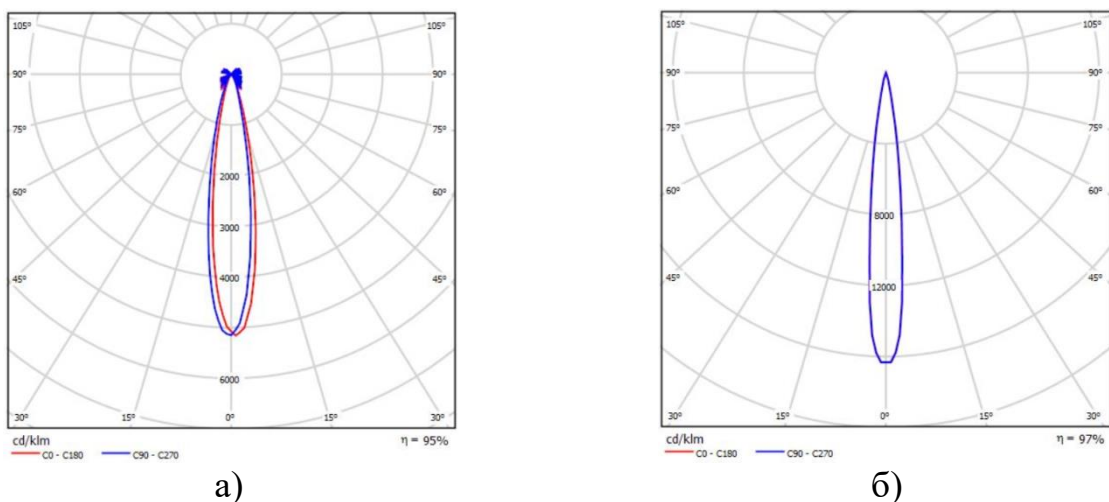


Рисунок 3.2 – Криві сили світла прожектора ДСУ05У-1400-411 (а) та ДСУ05У-1400-1-411 (б)

Для створення освітленості горизонтальної площини 1500 лк разом із цими прожекторами на щоглах пропонується використати ще 20 прожекторів ДСУ05У-1400-411 (по 5 прожекторів на щоглу) та 44 прожектори ДСУ05У-1400-1-411 (по 11 прожекторів на щоглу). Шляхом моделювання та світлотехнічного розрахунку системи, котра призначена для освітлення стадіону під час проведення матчів, отримано наступні результати для горизонтальної площини:

мінімальна освітленість – 1056 лк;

середня освітленість – 1253 лк (нормоване значення 1200 лк);

максимальна освітленість – 1479 лк;

відношення мінімальної освітленості до середньої – 0,84 (нормоване значення 0,60);

відношення мінімальної освітленості до максимальної – 0,71 (нормоване значення 0,40).

Як видно із результатів така система освітлення забезпечує виконання нормативних вимог щодо горизонтальної освітленості. Графік розподілу освітленості по горизонтальній поверхні приведено на рис. 3.3. Крім того, із графіку видно, що різниця між освітленостями сусідніх точок (Gradient) не перевищує 30%.

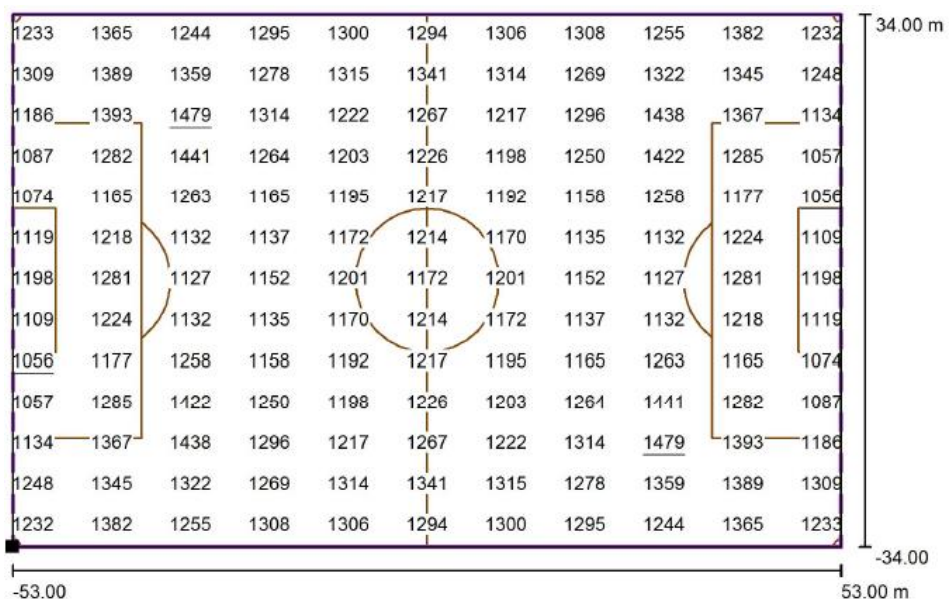


Рисунок 3.3 – Графік розподілу освітленості по горизонтальній поверхні

Напрями осьових сил світла прожекторів показано на рис. 3.4, а координати їх розміщення та координати точок напрямів приведено в таблиці додатка 1.

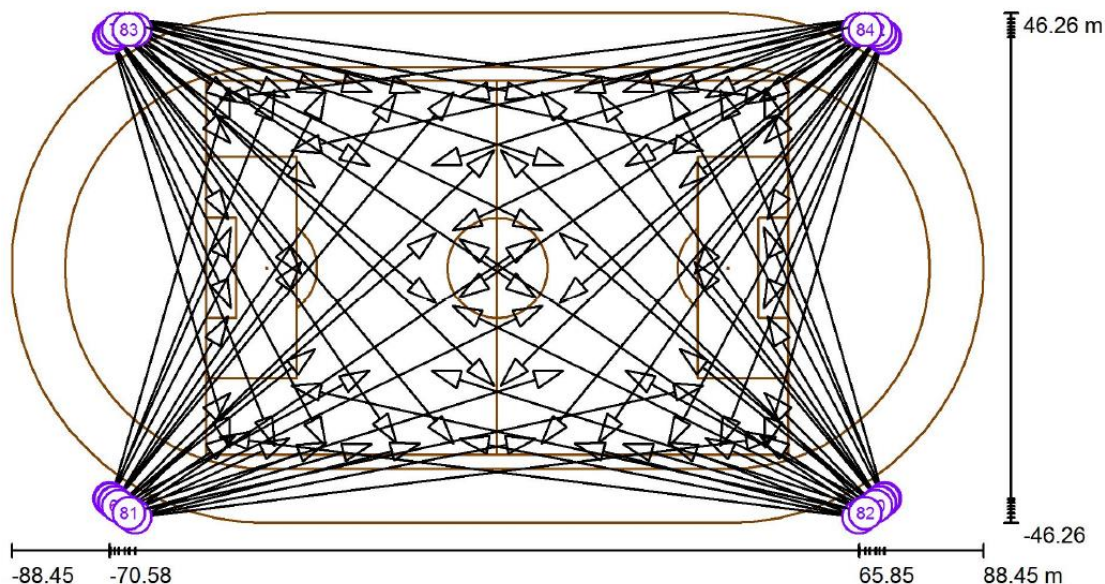


Рисунок 3.4 – Напрями осьових сил прожекторів системи освітлення стадіону

Результати розрахунку освітленості у вертикальній площині, орієнтованої на камеру приведено в табл. 3.1, а графік розподілу освітленості – на рис. 3.5.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку освітленості у вертикальній площині, орієнтованої на відеокамеру

Показник	Нормоване значення	Розрахункове значення
Середня освітленість у вертикальній площині, лк	Більше 750	769
Мінімальна освітленість у вертикальній площині, лк	Більше 350	463
Відношення мінімальної освітленості у вертикальній площині до максимальної	Більше 0,35	0,465
Відношення мінімальної освітленості у вертикальній площині до середньої	Більше 0,45	0,603

Як видно із результатів розрахунку розрахункові значення світлотехнічних характеристики перевищують нормовані, а отже освітлювальна

установка здатна забезпечити виконання вимог щодо освітленості вертикальної площини, орієнтованої на камеру.

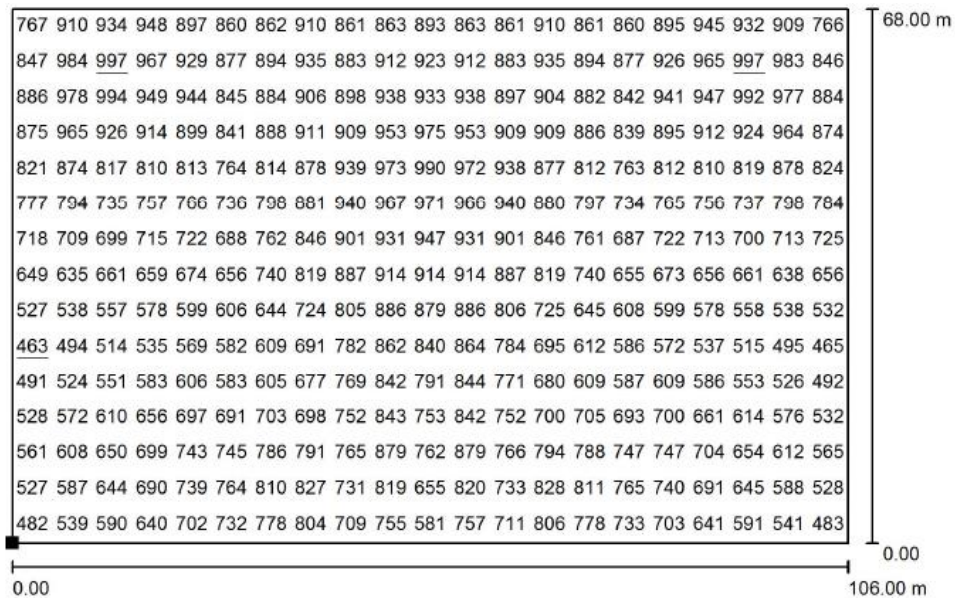


Рисунок 3.5 – Графік розподілу освітленості у вертикальній площині, орієнтованій на камеру

Результати розрахунку освітленості у вертикальній площині на рівні 0,75 м над підлогою наступні:

мінімальна освітленість – 493 лк;

середня освітленість – 833 лк;

максимальна освітленість – 1107 лк

відношення мінімальної освітленості до середньої – 0,591 лк;

відношення мінімальної освітленості до максимальної – 0,445.

Як бачимо із результатів така система освітлення повністю забезпечує виконання вимог щодо освітлення стадіонів категорії 2, наведених в [4] та приведених в табл. 1.3. Графік розподілу освітленості у вертикальній площині приведено на рис. 3.6.

Тому для подальших розрахунків приймається система освітлення стадіону під час проведення матчів, котра складається із 96 прожекторів. Сумарна потужність системи освітлення стадіону становить 134,4 кВт.



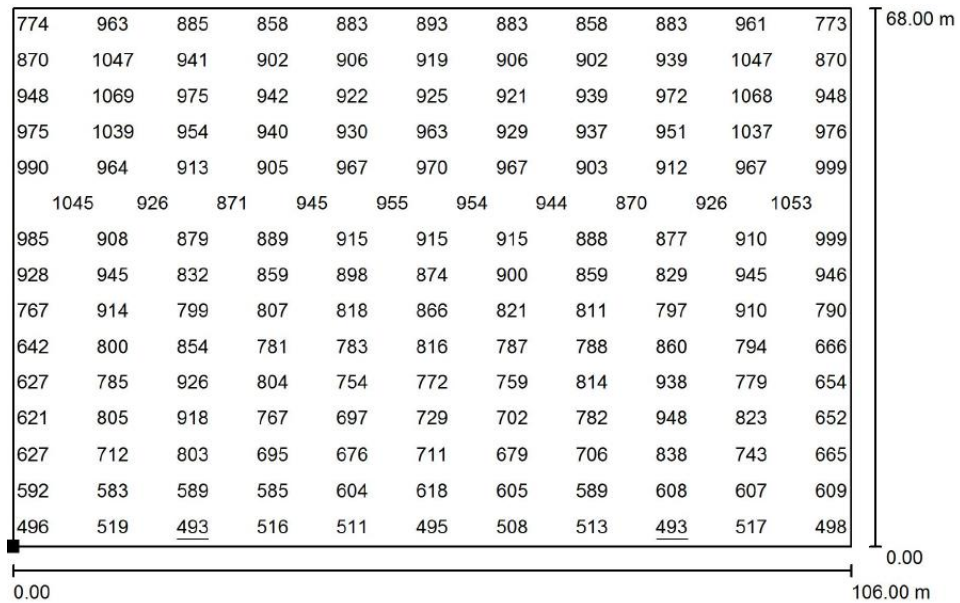


Рисунок 3.6 – Графік розподілу освітленості у вертикальній площині

## 3.2 Електротехнічний розрахунок системи освітлення стадіону

### 3.2.1 Розрахунок електричної освітлювальної мережі на мінімум провідникового матеріалу

Визначимо площу поперечного перерізу ділянок електричної освітлювальної мережі стадіону на основі результатів розрахунку на мінімум провідникового матеріалу. Відповідно до методики розрахунку, площу  $S$  поперечного перерізу жил кабеля ділянки електричної мережі можна визначити за формулою [5, 12, 14]:

$$S = \frac{M_{II}}{c \cdot \Delta U}, \quad (3.2)$$

де  $M_{II}$  – приведений момент електричного навантаження, котре живиться через розрахункову ділянку мережі;

$c$  – коефіцієнт, який вибирається в залежності від матеріалу, типу системи мережі та прикладеної напруги;

$\Delta U$  – допустима втрата напруги, виражена у відсотковому співвідношенні

від номінальної напруги мережі. Для електричних освітлювальних мереж живлення прожекторних установок приймається що допустима втрата напруги від ВРП до найбільш віддаленого світильника  $\Delta U = 2,5\%$  [12].

Розрахунок на мінімум провідникового матеріалу покажемо на прикладі ділянок мережі ГРП – ЩКО2 – прожектори на щоглах. Розрахункову схему приведено на рис. 3.7.

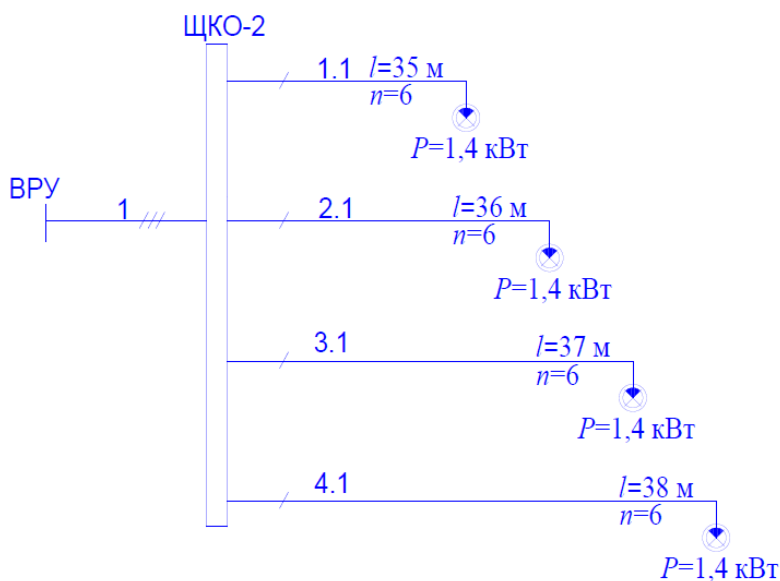


Рисунок 3.9 – Розрахункова схема ділянки електричної ВРП – ЩКО-2 – прожектори на щоглах електричної освітлювальної мережі стадіону

Як видно із даної схеми, ділянка мережі ГРП – ЩКО-2 є трифазною, а ділянки 1.1 – 4.1 – однофазними. Моменти навантажень ділянок 1, 1.1 – 4.1:

$$M_1 = 1,4 \cdot 24 \cdot 200 = 6720,0 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$M_{1,1} = 1,4 \cdot 35 = 49,0 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$M_{1,2} = 1,4 \cdot 36 = 50,4 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$M_{1,3} = 1,4 \cdot 37 = 51,8 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$M_{1,4} = 1,4 \cdot 38 = 53,2 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Приведений момент розрахуємо за формулою [14]:

$$M_{II} = \sum M + \alpha \cdot \sum m, \quad (3.3)$$

де  $\sum M$  – сума моментів ділянки, котра розраховується, а також всіх наступних ділянок, котрі живляться через дану, причому число проводів цих ділянок дорівнює числу проводів на даній ділянці;

$\sum m$  – сума моментів електричних навантажень тих ділянок, живлення котрих здійснюється через розрахункову ділянку, а кількість проводів на цих ділянках не дорівнює числу проводів розрахункової ділянки;

$\alpha$  – коефіцієнт приведення моментів, котрий дорівнює, значення котрого становить [12]:

1,83 – для системи трифазна лінія з нульовим проводом – однофазна лінія;

1,37 – для системи трифазна лінія з нульовим проводом – двофазна лінія із нульовим проводом;

1,33 – для системи двофазна лінія з нульовим проводом – однофазна лінія.

Підставивши значення моментів у формулу (3.3), отримаємо:

$$M_{II} = 6720 + 1,83 \cdot 6 \cdot (49,0 + 50,4 + 51,8 + 53,2) = 8964 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Підставивши значення для  $M_{II}$ ,  $\Delta U$  та  $c = 72$ , що відповідає трифазній мережі напругою 380/220 В із мідними провідниками, в формулу (3.2), отримаємо

$$S_1 = \frac{8964}{72 \cdot 2,5} = 49,8 \text{ мм}^2.$$

Виберемо найближчу більшу площу поперечного перерізу жил кабелю  $S_1 = 50 \text{ мм}^2$ . Тоді розрахунковий спад напруги:

$$\Delta U_1 = \frac{6270}{72 \cdot 50} = 1,74 \text{ \%}.$$



Допустимий спад напруги на ділянках мережі 1.1 – 1.4:

$$\Delta U_{1,1} = 2,5 - 1,74 = 0,76 \%,$$

а розрахункова площа поперечного перерізу жил кабелю ділянки 1.4:

$$S_{1,4} = \frac{53,2}{12 \cdot 0,76} = 5,8 \text{ мм}^2.$$

Виберемо найближчу більшу площу поперечного перерізу жил кабелю  $S_1 = 6 \text{ мм}^2$ . Розрахунковий спад напруги становить

$$\Delta U_{1,4} = \frac{53,2}{6 \cdot 12} = 0,74 \%.$$

Отже, повний спад напруги

$$\Delta U = 1,74 + 0,73 = 2,48 \%.$$

Розглянемо також варіант, коли  $S_1 = 70 \text{ мм}^2$ . Тоді розрахунковий спад напруги на ділянці 1 при такій площі перерізу жил кабелю становить:

$$\Delta U_1 = \frac{6270}{72 \cdot 70} = 1,24 \%.$$

Допустимий спад напруги на ділянках мережі 1.1 – 1.4:

$$\Delta U_{1,1} = 2,5 - 1,24 = 1,26 \%,$$

а розрахункова площа поперечного перерізу жил кабелю ділянки 1.4:

$$S_{1,4} = \frac{53,2}{12 \cdot 1,24} = 3,58 \text{ мм}^2.$$

Виберемо найближчу більшу площу поперечного перерізу жил кабелю  $S_1 = 4 \text{ мм}^2$ . Розрахунковий спад напруги становить

$$\Delta U_{1,4} = \frac{53,2}{4 \cdot 12} = 1,11 \%$$

Отже, повний спад напруги

$$\Delta U = 1,24 + 1,11 = 2,35 \%$$

Для остаточного вибору площі поперечних перерізів жил кабелів виконаємо порівняння варіантів по вартісних показниках. Вартість одного метра кабелю типу ВБбШв 4×50 становить 833,03 грн [15], а кабеля ВВГнг 3×6 – 78,53 грн [16]. Сумарна вартість  $B_1$  кабелів для першого варіанту становить:

$$B_1 = 200 \cdot 833,03 + 78,53 \cdot 6 \cdot (35 + 36 + 37 + 38) = 235398,28 \text{ грн.}$$

У другому варіанті використовується кабель типу ВБбШв 4×70 вартістю 1202,29 грн/м та кабель ВВГнг 3×4 вартістю 54,16 грн/м. Сумарна вартість  $B_2$  кабелів для другого варіанту становить:

$$B_2 = 200 \cdot 1202,29 + 54,16 \cdot 6 \cdot (35 + 36 + 37 + 38) = 287902,16 \text{ грн.}$$

Як видно із результатів розрахунку вартість варіанту 1 є нижчою, ніж варіанту 2. Отже остаточно приймаємо для ділянки електричної освітлювальної мережі ГРП – ЩКО-2 кабель типу ВБбШв 4×50, а для ділянок ЩКО2 – прожектори на щоглах – кабель типу ВВГнг 3×6.

Розрахунок та вибір перерізів кабелів для інших ділянок ГРП – ЩКО виконуємо аналогічно. Результати розрахунку приведені в табл. 3.2 разом із результатами розрахунку електричної освітлювальної мережі тренувального майданчика.

Схему для розрахунку електричної освітлювальної мережі тренувального майданчика приведено на рис. 3.10. Для даної схеми довжини ділянок трифазних ділянок становлять: ділянки 100 – 65 м, ділянок 1.1 – 1.4 – 45 м, ділянок 2.1 – 2.5 – 46 м.

Довжини ділянок 01, тобто ділянок кабелів, прокладених всередині

прожекторних опор, котрі з'єднують власне прожектори із трифазними кабелями живлення становлять 11 м. Моменти навантаження  $M_{01}$  цих ділянок

$$M_{01} = 0,4 \cdot 11 = 4,1 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

а сума моментів трифазних ліній живлення:

$$M_{2,1} = 45 \cdot 1,6 + 45 \cdot 1,2 + 45 \cdot 0,8 + 45 \cdot 0,4 = 180 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$M_{2,2} = 46 \cdot 2,0 + 46 \cdot 1,6 + 46 \cdot 1,2 + 46 \cdot 0,8 + 46 \cdot 0,4 = 276 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$M_{100} = 65 \cdot 4,0 + 180 + 276 = 716 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

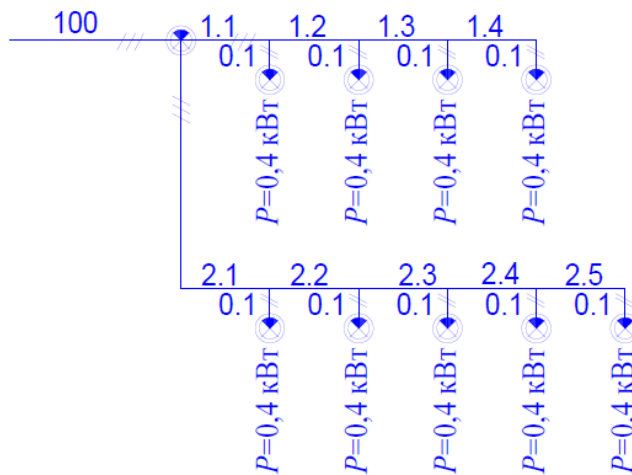


Рисунок 3.10 – Схема для електротехнічного розрахунку електричної освітлювальної мережі тренувального майданчика

Приведені моменти цих ділянок:

$$M_{П2,1} = 180 + 1,37 \cdot 4 \cdot 4,1 = 202,5 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$M_{П2,2} = 276 + 1,37 \cdot 5 \cdot 4,1 = 304,1 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$M_{П100} = 716 + 1,37 \cdot 10 \cdot 4,1 = 772,2 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Підставляючи значення приведенного моменту ділянки 100 у формулу (3.2), отримаємо:

$$S_{100} = \frac{772,2}{72 \cdot 2,5} = 4,29 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо площу поперечного перерізу жил кабелю цієї ділянки  $6 \text{ мм}^2$ .  
Тоді розрахунковий спад напруги на цій ділянці:

$$\Delta U_{100} = \frac{260}{72 \cdot 6} = 0,60 \%$$

Допустима втрата напруги на ділянках 1.1 та 2.1 становить

$$\Delta U_{1.1} = \Delta U_{2.1} = 2,5 - 0,60 = 1,90 \%$$

Площі поперечного перерізу жил кабелів цих ділянок:

$$S_{1.1} = \frac{202,5}{72 \cdot 1,90} = 1,48 \text{ мм}^2,$$

$$S_{1.2} = \frac{304,1}{72 \cdot 1,90} = 2,22 \text{ мм}^2,$$

Приймаємо для цих двох ділянок площу поперечного перерізу  $2,5 \text{ мм}^2$ .  
Тоді розрахункові спади напруг на цих ділянках:

$$\Delta U_{1.1} = \frac{180}{72 \cdot 2,5} = 1,00 \%$$

$$\Delta U_{1.2} = \frac{276}{72 \cdot 2,5} = 1,53 \%$$

Допустимий спад напруги на найбільш віддаленому прожекторах, котрі живляться через ділянку 2.2:

$$\Delta U_{01} = 1,90 - 1,53 = 0,37 \%,$$

а площа поперечного перерізу жил кабеля:

$$S_{01} = \frac{4,1}{32 \cdot 0,37} = 0,34 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо  $S_{01} = 1,5 \text{ мм}^2$ . Тоді реальний спад напруги

$$\Delta U_{01} = \frac{4,4}{32 \cdot 1,5} = 0,09 \%$$

Сумарний максимумальний спад напруги електричної освітлювальної мережі тренувального майданчика:

$$\Delta U_{01} = 0,60 + 1,53 + 0,09 = 2,22 \%$$

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку електричної освітлювальної мережі стадіону на мінімум провідникового матеріалу

Ділянка	Тип кабелю	Довжина, м	Кількість кабелів	Спад напруги, %
ГРП-0,4 кВ – ЩКО1	ВБбШв 4×35	120	2	1,60
ГРП-0,4 кВ – ЩКО2	ВБбШв 4×50	200	2	1,74
ГРП-0,4 кВ – ЩКО3	ВБбШв 4×50	135	2	1,26
ГРП-0,4 кВ – ЩКО4	ВБбШв 4×25	55	2	1,03
ГРП-0,4 кВ – прожекторні опори	ВБбШв 4×6	65	1	0,60
Живлення прожекторних опор 1, 2, 8 – 10	ВБбШв 4×2,5	230	1	1,00
Живлення прожекторних опор 3 – 7		180	1	1,53
ЩКО 1 – 4 – прожектори на щоглах	ВВГнг 3×6	35	1	0,68
		36	1	0,70
		37	1	0,72
		38	1	0,74
Прожектори на опорах	ВВГнг 4×1,5	11	10	0,09

### 3.2.2 Розрахунок електричної освітлювальної мережі по струму навантаження та вибір апаратів захисту

Значення робочого струму трифазної електричної освітлювальної мережі розраховується за формулою:

$$I_p = \frac{P_p \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_l \cdot \cos \varphi}, \quad (3.4)$$

де  $P_p$  – розрахункова потужність;

$U_l = 380$  В – лінійна напруга;

$\cos \varphi$  – коефіцієнт активної потужності.

Підставивши значення  $\cos \varphi = 0,95$ , а також відповідні потужності навантажень, котрі живляться через конкретні ділянки отримаємо:

для ділянок ГРП-0,4 кВ – ЩКО1 – 1.4:

$$I_p = \frac{33,6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,95} = 53,74 \text{ А},$$

для ділянки, котра живить прожектори, які застосовуються для освітлення стадіону під час тренувань та під час ігор:

$$I_p = \frac{11,2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,95} = 17,91 \text{ А},$$

для ділянки, котра живить решту прожекторів, тобто котрі застосовуються для освітлення стадіону лише під час ігор:

$$I_p = \frac{22,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,95} = 35,82 \text{ А},$$

для ділянки ГРП-0,4 кВ – прожекторні опори:

$$I_p = \frac{4,0 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,95} = 6,40 \text{ А},$$

для ділянок, котрі живлять прожекторні опори:

$$I_p = \frac{1,6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,95} = 2,55 \text{ А},$$

$$I_p = \frac{2,0 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,95} = 3,20 \text{ А.}$$

Допустимий струм навантаження ділянки мережі ГРП-0,4 кВ – ЩКО4, для якої на основі результатів попереднього розрахунку вибрано кабель ВБбШв 4×25 становить при прокладанні в землі становить 150 А, тоді як струм навантаження для цієї ділянки дорівнює 53,74 А. Аналогічно можна сказати і про інші трифазні ділянки та дійти до висновку, що їх перерізи відповідають по умовах нагріву.

Значення робочих струмів для двофазних та однофазних ліній розраховуються відповідно за формулами:

$$I_{2\phi p} = \frac{P_p \cdot 10^3}{2 \cdot U_\phi \cdot \cos \varphi},$$

$$I_{1\phi p} = \frac{P_p \cdot 10^3}{U_\phi \cdot \cos \varphi},$$

де  $U_\phi = 220 \text{ В}$  – фазова напруга.

Підставляючи значення потужностей 0,4 кВт та 1,4 кВт відповідно у формули (3.5) та (3.6), отримаємо:

для ділянок живлення прожекторів на опорах

$$I_{2\phi p} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{2 \cdot 220 \cdot 0,95} = 0,96 \text{ А,}$$

для ділянок ЩКО 1 – 4 – прожектори на щоглах:

$$I_{1\phi p} = \frac{1,4 \cdot 10^3}{220 \cdot 0,95} = 6,70 \text{ А.}$$

На основі результатів попереднього розрахунку для цих ділянок вибрано кабелі із площею поперечного перерізу жил відповідно 1,5 та 6 мм<sup>2</sup>, допустимі

струми для яких становлять 19 та 70 А, тобто можна дійти до висновку, що такі кабелі відповідають умовам допустимого нагріву.

Для групових ліній ГРП-0,4 кВ – ЩКО1, ГРП-0,4 кВ – прожекторні опори, ЩКО 1 – 4 – прожектори на щоглах та ліній, котрі живлять прожектори на опорах виберемо апарати захисту, виходячи із умови

$$I_B \geq k \cdot I_p,$$

де  $I_B$  – номінальний струм вставки автоматичного вимикача;

$k = 1,25$  – коефіцієнт, який враховує неточності у визначенні максимального короткочасного струму лінії і розкид характеристик електромагнітних розчіплювачів автоматів.

Для групових ліній ГРП-0,4 кВ – ЩКО1:

$$I_B \geq 1,25 \cdot 53,74 = 67,18 \text{ А},$$

на основі чого вибираємо апарат захисту ВА47-100 ЗР 80 А [17]. Аналогічно вибір апаратів захисту здійснюємо і для інших кабельних ліній. Інформацію щодо вибраних апаратів захисту подано в табл. 2.4.

### 3.3 Висновки до розділу

1. На підставі моделювання та світлотехнічного розрахунку системи освітлення футбольного стадіону встановлено, що для забезпечення освітленості на горизонтальній поверхні 1200 лк необхідно використати 96 прожекторів типу ДСУ05У (А-тах) потужністю 1,4 кВт кожен, рівномірно розміщених на чотирьох опорах на висоті 35 – 38 м. Дана система освітлення забезпечує освітленість на робочій поверхні 1253, а коефіцієнти рівномірності освітлення становлять – 0,84 та 0,71 при нормованих значеннях 0,60 та 0,40.

2. Для забезпечення вимог щодо освітлення для проведення тренувань необхідно використати 32 прожектори типу ДСУ05У (А-тах) потужністю 1,4



кВт. Розрахункова середня горизонтальна освітленість при використанні такої системи освітлення становить 358 лк при нормованому значенні 350 лк.

3. Сумарна потужність системи освітлення стадіону становить 134,4 кВт.

4. Виконано електротехнічний розрахунок електричної освітлювальної мережі систем освітлення стадіону та тренувального майданчика, в результаті чого здійснено вибір площі перерізу жил кабельних ліній та вибрано апарати захисту. Встановлено, що максимальна втрата напруги становить 2,48 %.

---

## 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Фактори, що впливають на наслідки ураження електричним струмом

Фактори, що впливають на наслідки ураження електричним струмом можна умовно поділити на:

- електричні;
- неелектричні;
- фактори навколишнього середовища.

До електричних факторів належать величина і вид струму, його частота, опір тіла людини. Величина струму, що протікає через тіло людини, безпосередньо і найбільшою мірою впливає на тяжкість ураження. Зважаючи на наведений характер дії, виділяють такі порогові значення струму:

поріг відчуття – найменше відчутне значення струму (1 мА для змінного струму частотою 50 Гц і 5 мА для постійного струму);

утримуючий струм – найменше значення струму, при якому людина не може самостійно звільнитися від захоплених електродів дією тих м'язів, через які протікає струм (10 мА для змінного струму частотою 50 Гц і 50 мА для постійного струму);

смертельний струм (100 мА і більше).

Найбільш небезпечним для організму людини є змінний струм з частотою 50 – 60 Гц. На рис. 4.1 наведені криві, котрі характеризують залежність утримуючого струму від частоти. Як видно, небезпека дії струму знижується зі збільшенням частоти, але струм частотою до 500 Гц практично такий же небезпечний, як і струм частотою 50 Гц. Випрямлений струм містить постійну і змінну складові, які спільно діють на організм людини в той час, як вимірювальні прилади показують тільки постійну складову. Тому в деяких випадках випрямлені граничні значення струму за постійною складовою можуть бути навіть у 1,2–1,5 рази нижче, ніж для змінного струму. Варто також

зауважити, що і невеликий постійний струм при швидкому розриві електричного кола дає дуже різкі удари, які іноді спричиняють судороги м'язів рук.

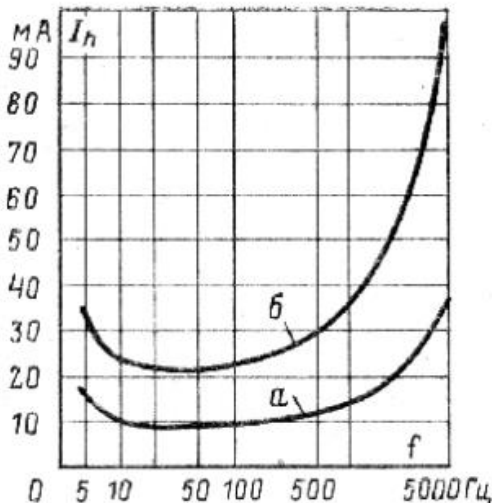


Рисунок 4.1 – Залежність утримуючого струму від частоти:

а – для 1,5 % випробуваних; б – для 100 % випробуваних

Струм, що протікає через тіло людини, залежить від напруги і сумарного електричного опору на шляху струму, до якого входить опір тіла людини. Опір тіла людини – величина нелінійна, яка залежить від багатьох факторів. Електрична схема заміщення тіла людини зображена на рис. 4.2.

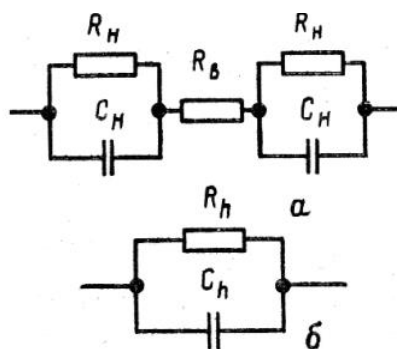


Рисунок 4.2 – Електричні схеми заміщення опору тіла людини:

а – повна, б – спрощена

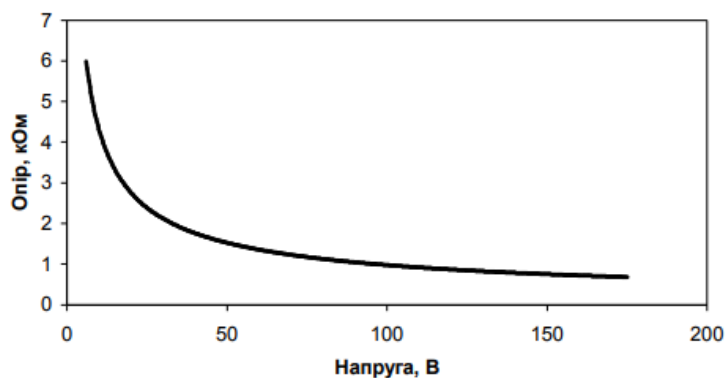


Рисунок 4.3 – Залежність опору тіла людини від прикладеної напруги

Як видно зі схеми, опір тіла людини має як активну, так і реактивну ємнісну складову. Основною складовою опору у колі струму через тіло людини є опір верхнього рогового шару шкіри, товщина якого складає 0,05–0,2 мм. При знятому роговому шарі шкіри опір внутрішніх тканин не перевищує 1 кОм, а при сухій неушкодженій шкірі опір може досягати 10–100 кОм.

Опір тіла людини змінюється в широких межах і залежить від стану шкіри (суха, волога, чиста, ушкоджена тощо), щільності контакту, площі контакту, величини прикладеної напруги, частоти струму, тривалості впливу струму на людину. Крім того опір тіла людини залежить від її статі і віку: у жінок він менший, ніж у чоловіків, у дітей менший, ніж у дорослих, у молодих людей менший, ніж у літніх, що пояснюється різною товщиною і ступенем огрублення верхнього шару шкіри.

На рис. 4.3 наведена залежність опору тіла людини від прикладеної напруги. Як видно із даної залежності зі збільшенням напруги опір тіла людини знижується.

До електричних факторів відносяться тривалість дії струму, а також шлях проходження струму через людське тіло. При тривалому впливі струму опір тіла людини падає і струм зростає до значення, здатного викликати зупинку дихання або навіть фібриляцію серця. Зупинка дихання виникає не миттєво, а через кілька секунд, причому, чим більший струм проходить через тіло людини, тим менше цей час. Своєчасне звільнення потерпілого дозволяє запобігти паралічу дихальних м'язів.

Суттєво впливає на тяжкість ураження також шлях струму через тіло людини. Найбільш небезпечне проходження струму через дихальні м'язи і серце. Так, відзначено, що по шляху «рука – рука» через серце проходить 3,3% загального струму; «ліва рука – ноги» – 3,7%; «права рука – ноги» – 6,7%; «нога – нога» – 0,4%. Випадки з тяжкими і смертельними наслідками найбільш характерні для шляху струму «рука-рука» (40%), «права рука-ноги» (20%), «ліва рука-ноги» (17%). Особливо небезпечними є шляхи струму «голова-руки» і «голова-ноги», але трапляються вони досить рідко.

Серед факторів навколишнього середовища, які найбільш суттєво впливають на небезпеку ураження людини електричним струмом, є температура повітря в приміщенні, вологість та запиленість повітря, наявність у повітрі хімічно активних домішок тощо. За високої температури повітря посилюється потовиділення, розкриваються пори шкіри, зволожується одяг, взуття, що призводить до зменшення опору тіла людини, одягу та взуття і збільшення величини струму, що протікає через тіло людини. Аналогічно впливає на опір і вологість повітря. Підвищена вологість повітря, струмовідний пил та хімічно активні домішки знижують опір ізоляції електроустановки, сприяють переходу напруги на не струмовідні частини установки, коротким замиканням тощо і, таким чином, підвищують небезпеку електротравм.

#### **4.2 Заходи безпеки при експлуатації електроустановок та електрообладнання громадських споруд**

Виділяють три системи засобів та заходів забезпечення електробезпеки:

- система технічних засобів та заходів;
- система електрозахисних засобів;
- система організаційно-технічних заходів та засобів; система технічних засобів електробезпеки. Технічні засоби і заходи з електробезпеки реалізуються в конструкції електроустановок при їх розробці, виготовленні та монтажі відповідно до чинних нормативів.

За своїми функціями технічні засоби і заходи забезпечення електробезпеки діляться на дві групи:

- технічні заходи та засоби забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок;
- технічні заходи та засоби забезпечення електробезпеки при аварійних режимах роботи електроустановок.

Основні технічні засоби та заходи забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок включають:

- ізоляцію струмовідних частин;
- недоступність струмовідних частин;
- блоківки безпеки;
- засоби орієнтації в електроустановках;
- виконання електроустановок, ізольованих від землі;
- захисне розділення електричних мереж;
- компенсацію ємкісних струмів замикання на землю;
- вирівнювання потенціалів.

Із метою підвищення рівня безпеки, залежно від призначення, умов експлуатації та конструкції, в електроустановках застосовується одночасно більшість з перерахованих технічних засобів та заходів.

Ізоляція струмовідних частин. Забезпечує технічну працездатність електроустановок, зменшує вірогідність попадань людини під напругу, замикань на землю і на корпус; електроустановок, зменшує струм через людину при доторканні до неізольованих струмовідних частин в електроустановках, що живляться від ізольованої від землі мережі за умови відсутності фаз з пошкодженою ізоляцією.

Статистичні дані щодо електротравматизму свідчать, що більшість електротравм пов'язані з дотиком до струмовідних частин електроустановок (біля 56 %). Якщо в установках до 1000 В небезпека електротравм пов'язана, переважно, з дотиком до неізольованих струмовідних елементів електроустановок, то при напрузі більше 1000В електротравми можливі і при дотику до ізольованих струмовідних частин. Основними заходами забезпечення недоступності струмовідних частин є застосування захисних огорожень, закритих комутаційних апаратів (пакетних вимикачів, комплектних пускових пристроїв, дистанційних електромагнітних приладів управління споживачами електроенергії тощо), розміщення неізольованих струмовідних частин на недосяжній, для ненавмисного доторкання до них інструментом, висоті, різного роду пристосуваннями тощо, обмеження доступу сторонніх осіб в електротехнічні приміщення.

Засоби орієнтації в електроустановках дають можливість персоналу чітко орієнтуватись при монтажі, виконанні ремонтних робіт і запобігають помилковим діям. До засобів орієнтації в електроустановках належать: маркування частин електрообладнання, проводів і струмопроводів (шин), бирки на проводах, забарвлення неізольованих струмовідних частин, ізоляції, внутрішніх поверхонь електричних шаф і щитів керування, попереджувальні сигнали, написи, таблички, комутаційні схеми, знаки високої електричної напруги, знаки постійно попереджувальні тощо.

Попереджувальні сигнали використовують з метою забезпечення надійної інформації про перебування електрообладнання під напругою, про стан ізоляції та пристроїв захисту, про небезпечні відхилення режимів роботи від номінальних тощо. Світловою сигналізацією обладнуються в електроустановках напругою понад 1000 В комірки роз'єднувачів, масляних вимикачів, трансформаторів. У ввідних шафах комплектних трансформаторних під станцій, незалежно від величини напруги, передбачається поперед жувальна сигналізація станів "Увімкнено" і "Вимкнено".

Поява напруги на неструмовідних частинах електроустановок пов'язана з пошкодженням ізоляції і замиканням на корпус. Основними технічними заходами щодо попередження електротравм при замиканнях на корпус є захисне заземлення, занулення, захисне відключення. Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання з землею чи її еквівалентом металевих неструмовідних частин електроустановок, які можуть опинитись під напругою.

Захисному заземленню підлягають:

- електроустановки напругою 380 В і більше змінного струму і 440 В і більше постійного струму незалежно від категорії приміщень (умов) щодо безпеки електротравм;

- електроустановки напругою більше 42 В змінного струму і більше 110 В постійного струму в приміщеннях з підвищеною і особливою небезпекою електротравм, а також електроустановки поза приміщеннями;

- всі електроустановки, що експлуатуються у вибухонебезпечних зонах (з метою попередження вибухів).

Відповідно до зазначеного заземлюються:

- неструмовідні частини електричних машин, апаратів, трансформаторів;  
- каркаси розподільчих щитів, шаф, щитів управління, а також їх знімні частини і частини, що відкриваються, якщо на них встановлено електрообладнання напругою більше 42 В змінного і більш 110В постійного струму.

- металеві конструкції розподільчих пристроїв, металеві кабельні коробки й інші кабельні конструкції, металеві кабельні муфти, металеві гнучкі рукави і труби електропроводки, електричні світильники;

- металоконструкції виробничого обладнання, на якому є споживачі електроенергії;

- опори повітряних ліній електропередач тощо.

Занулення – це навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих неструмовідних частин, які можуть опинитись під напругою в результаті пошкодження ізоляції.

Призначення захисного відключення – відключення електроустановки при пошкодженні ізоляції і переході напруги на неструмовідні її елементи. Застосовується в доповнення до захисного заземлення (занулення) для забезпечення надійного захисту, перш за все, в умовах особливої небезпеки електротравм.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано системи та вимоги щодо освітлення футбольних стадіонів. Встановлено, що об'єкт проектування відповідає стадіонам категорії 2, на підставі чого визначено рівні нормованої освітленості. В залежності від типу спортивних заходів, які будуть відбуватись на стадіоні середня освітленість горизонтальної площини при проведенні тренувань повинна становити не менше 350 лк, а при проведенні матчів – 1200 лк.

2. В якості світлових приладів вибрано напівпровідникові прожектори типу ДСУ05 У (модель А-max), а в якості системи освітлення – чотирищоглову систему. На підставі вимог та місць можливого встановлення прожекторних щогл, шляхом розрахунку встановлено, що найменша висота улаштування прожекторів на щоглах має становити 35 м.

3. На підставі моделювання та світлотехнічного розрахунку системи освітлення футбольного стадіону встановлено, що для забезпечення освітленості на горизонтальній поверхні 1200 лк необхідно використати 96 прожекторів типу ДСУ05У (А-max) потужністю 1,4 кВт кожен, рівномірно розміщених на чотирьох опорах на висоті 35 – 38 м. Дана система освітлення забезпечує освітленість на робочій поверхні 1253, а коефіцієнти рівномірності освітлення становлять – 0,84 та 0,71 при нормованих значеннях 0,60 та 0,40.

4. Для забезпечення вимог щодо освітлення для проведення тренувань необхідно використати 32 прожектори типу ДСУ05У (А-max) потужністю 1,4 кВт. Розрахункова середня горизонтальна освітленість при використанні такої системи освітлення становить 358 лк при нормованому значенні 350 лк.

5. Сумарна потужність системи освітлення стадіону становить 134,4 кВт.

6. Встановлено, що по надійності електропостачання освітлювальна установка тренувального майданчика відноситься до III категорії, а стадіону – до II категорії, на основі чого вибрано їх системи живлення.

7. Оскільки згідно із Регламентом інфраструктури стадіонів та заходів безпеки проведення змагань з футболу вимагається безперебійна робота

системи освітлення під час проведення ігор, то для системи освітлення стадіону передбачено автоматичне введення резерву. Крім того запропоновано систему керування роботою прожекторів, котра дає змогу вмикати одну із систем освітлення стадіону у випадках проведення тренувань чи матчів.

8. Виконано електротехнічний розрахунок електричної освітлювальної мережі систем освітлення стадіону та тренувального майданчика, в результаті чого здійснено вибір площі перерізу жил кабельних ліній та вибрано апарати захисту. Встановлено, що максимальна втрата напруги становить 2,48 %.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Назаренко Л.А., Салтиков В.О., Васильєва Ю.О., Ляшенко О.М. Комп'ютерне проектування освітлення спортивних споруд: навч. посібник. Харків: ХНАМГ, 2013. 217 с.
2. Спортивне освітлення стадіонів. URL: [https://polygonal.com.ua/sportivne\\_osvItlennya\\_stadioniv.php](https://polygonal.com.ua/sportivne_osvItlennya_stadioniv.php) (дата звернення: 01.06.2022).
3. DIN EN 12193. Light and lighting - Sports lighting
4. Регламент інфраструктури стадіонів та заходів безпеки проведення змагань з футболу, затверджений Рішенням Виконавчого комітету Громадської спілки «Українська асоціація футболу» (протокол № 13 від 16.12.2019). Київ: УАФ, 2020. 150 с.
5. Осадца Я.М. Курс лекцій з дисципліни “Світлотехнічні установки та системи” для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопіль: ТНТУ, 2020. 58 с.
6. Корнага В.І. Методи та засоби побудови інтелектуальних систем освітлення на основі синтезу білого світла із заданими спектральними характеристиками: дис. ... канд. техн. наук: 05.12.20 – оптоелектронні системи. Київ, 2017. 162 с.
7. ДСУ05У (модель А-max). URL: [http://vatra.ua/download/PDF\\_VATRA/floodlight/VATRA-UKR\\_DSU05U\\_A-max.pdf](http://vatra.ua/download/PDF_VATRA/floodlight/VATRA-UKR_DSU05U_A-max.pdf) (дата звернення: 04.06.2022).
8. Силовий кабель ВБбШВ (нг, нгд). URL: <https://vse-e.com/ua/kabel-i-provod/marki-kabelia/vbbshv-ng-ngd> (дата звернення: 05.06.2022).
9. Кабельний завод «Тумен». Каталог кабельно-провідникової продукції). URL: <https://www.twomen.odessa.ua/downloads/catalogue.pdf> (дата звернення: 05.06.2022).
10. Правила улаштування електроустановок. Київ: Мінрегіонвугілля України, 2017. 617 с.

11. Особенности систем TN-C, TN-C-S, TN-S. URL: <https://forca.com.ua/info/bezopasnost/osobennosti-sistem-tn-c-tn-c-s-tn-s.html> (дата звернення: 05.06.2022).

12. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп.: ил. Москва: Знак, 2006. 972 с.

13. Ільїна Н.О., Васильєва Ю.О. Світлотехнічні установки та системи: конспект лекцій для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання спеціальності 6.090.600 «Світлотехніка та джерела світла». Харків: ХНАМГ, 2006. 104 с.

14. Тищенко Г.А. Осветительные установки.: Учебник для учащихся техникумов специальности "Электроосветительные приборы и установки". Москва: Высшая школа, 1984. 247 с. ил.

15. Кабель ВББШв. URL: [https://cablecompany.com.ua/mednyj\\_silovoy\\_kabel/kabel\\_vbbshv/](https://cablecompany.com.ua/mednyj_silovoy_kabel/kabel_vbbshv/) (дата звернення: 08.06.2022).

16. Кабель ВВГнг. URL: [https://cablecompany.com.ua/mednyj\\_silovoy\\_kabel/kabel\\_vvgng/](https://cablecompany.com.ua/mednyj_silovoy_kabel/kabel_vvgng/) (дата звернення: 08.06.2022).

17. Автоматичний вимикач ВА47-100 3Р 80 А х-ка С, ІЕК. URL: <https://001.com.ua/uk/avtomatychnyy-vumykach-va47-100-3p-80-a-h-ka-c-iek/> (дата звернення: 08.06.2022).

## Додаток 1

Таблиця координат розміщення прожекторів та відповідних їм точок напрямів осьової сили світла

Позначення	Тип прожектора	Координати розміщення прожектора			Координати точки напрямку осьової сили світла			Система освітлення	
		X, м	Y, м	Z, м	X, м	Y, м	Z, м	Ігри	Тренування
1	ДСУ05У-1400-1-411	-70,36	-41,98	38,00	-48,77	32,68	0,00	+	+
2	ДСУ05У-1400-1-411	70,36	-41,98	38,00	48,77	32,68	0,00	+	+
3	ДСУ05У-1400-1-411	-70,36	41,98	38,00	-48,77	-32,68	0,00	+	+
4	ДСУ05У-1400-1-411	70,36	41,98	38,00	48,77	-32,68	0,00	+	+
5	ДСУ05У-1400-411	-67,77	-43,83	35,00	-47,80	-30,40	0,00	+	
6	ДСУ05У-1400-411	67,77	-43,83	35,00	47,80	-30,40	0,00	+	
7	ДСУ05У-1400-411	-67,77	43,83	35,00	-47,80	30,40	0,00	+	
8	ДСУ05У-1400-411	67,77	43,83	35,00	47,80	30,40	0,00	+	
9	ДСУ05У-1400-411	-66,91	-44,52	35,00	-37,90	-31,00	0,00	+	
10	ДСУ05У-1400-411	66,91	-44,52	35,00	37,90	-31,00	0,00	+	
11	ДСУ05У-1400-411	-66,91	44,52	35,00	-37,90	31,00	0,00	+	
12	ДСУ05У-1400-411	66,91	44,52	35,00	37,90	31,00	0,00	+	
13	ДСУ05У-1400-1-411	-66,00	-45,30	38,00	50,60	-30,73	0,00	+	+
14	ДСУ05У-1400-1-411	66,00	-45,30	38,00	-50,60	-30,73	0,00	+	+
15	ДСУ05У-1400-1-411	-66,00	45,30	38,00	50,60	30,73	0,00	+	+
16	ДСУ05У-1400-1-411	66,00	45,30	38,00	-50,60	30,73	0,00	+	+
17	ДСУ05У-1400-411	-69,64	-42,53	35,00	-49,10	-8,89	0,00	+	+
18	ДСУ05У-1400-411	69,64	-42,53	35,00	49,10	-8,89	0,00	+	+
19	ДСУ05У-1400-411	-69,64	42,53	35,00	-49,10	8,89	0,00	+	+
20	ДСУ05У-1400-411	69,64	42,53	35,00	49,10	8,89	0,00	+	+
21	ДСУ05У-1400-1-411	-67,79	-43,85	38,00	-0,60	21,40	0,00	+	+
22	ДСУ05У-1400-1-411	67,79	-43,85	38,00	0,60	21,40	0,00	+	+
23	ДСУ05У-1400-1-411	-67,79	43,85	38,00	-0,60	-21,40	0,00	+	+
24	ДСУ05У-1400-1-411	67,79	43,85	38,00	0,60	-21,40	0,00	+	+
25	ДСУ05У-1400-1-411	-70,37	-42,06	36,00	-40,60	32,40	0,00	+	
26	ДСУ05У-1400-1-411	70,37	-42,06	36,00	40,60	32,40	0,00	+	
27	ДСУ05У-1400-1-411	-70,37	42,06	36,00	-40,60	-32,40	0,00	+	
28	ДСУ05У-1400-1-411	70,37	42,06	36,00	40,60	-32,40	0,00	+	
29	ДСУ05У-1400-1-411	-68,92	-43,25	36,00	-33,20	-14,74	0,00	+	
30	ДСУ05У-1400-1-411	68,92	-43,25	36,00	33,20	-14,74	0,00	+	
31	ДСУ05У-1400-1-411	-68,92	43,25	36,00	-33,20	14,74	0,00	+	
32	ДСУ05У-1400-1-411	68,92	43,25	36,00	33,20	14,74	0,00	+	
33	ДСУ05У-1400-1-411	-66,96	-44,55	38,00	6,90	5,30	0,00	+	
34	ДСУ05У-1400-1-411	66,96	-44,55	38,00	-6,90	5,30	0,00	+	
35	ДСУ05У-1400-1-411	-66,96	44,55	38,00	6,90	-5,30	0,00	+	
36	ДСУ05У-1400-1-411	66,96	44,55	38,00	-6,90	-5,30	0,00	+	
37	ДСУ05У-1400-1-411	-70,58	-41,91	35,00	-48,49	7,40	0,00	+	
38	ДСУ05У-1400-1-411	70,58	-41,91	35,00	48,49	7,40	0,00	+	
39	ДСУ05У-1400-1-411	-70,58	41,91	35,00	-48,49	-7,40	0,00	+	

40	ДСУ05У-1400-1-411	70,58	41,91	35,00	48,49	-7,40	0,00	+	
41	ДСУ05У-1400-1-411	-65,90	-45,29	37,00	6,93	-31,10	0,00	+	
42	ДСУ05У-1400-1-411	65,90	-45,29	37,00	-6,93	-31,10	0,00	+	
43	ДСУ05У-1400-1-411	-65,90	45,29	37,00	6,93	31,10	0,00	+	
44	ДСУ05У-1400-1-411	65,90	45,29	37,00	-6,93	31,10	0,00	+	
45	ДСУ05У-1400-1-411	-67,82	-43,85	37,00	8,20	-6,90	0,00	+	+
46	ДСУ05У-1400-1-411	67,82	-43,85	37,00	-8,20	-6,90	0,00	+	+
47	ДСУ05У-1400-1-411	-67,82	43,85	37,00	8,20	6,90	0,00	+	+
48	ДСУ05У-1400-1-411	67,82	43,85	37,00	-8,20	6,90	0,00	+	+
49	ДСУ05У-1400-1-411	-65,95	-45,29	36,00	-14,11	-31,97	0,00	+	
50	ДСУ05У-1400-1-411	65,95	-45,29	36,00	14,11	-31,97	0,00	+	
51	ДСУ05У-1400-1-411	-65,95	45,29	36,00	-14,11	31,97	0,00	+	
52	ДСУ05У-1400-1-411	65,95	45,29	36,00	14,11	31,97	0,00	+	
53	ДСУ05У-1400-1-411	-67,77	-43,83	36,00	12,00	-18,70	0,00	+	
54	ДСУ05У-1400-1-411	67,77	-43,83	36,00	-12,00	-18,70	0,00	+	
55	ДСУ05У-1400-1-411	-67,77	43,83	36,00	12,00	18,70	0,00	+	
56	ДСУ05У-1400-1-411	67,77	43,83	36,00	-12,00	18,70	0,00	+	
57	ДСУ05У-1400-1-411	-68,91	-43,23	38,00	-11,25	6,40	0,00	+	
58	ДСУ05У-1400-1-411	68,91	-43,23	38,00	11,25	6,40	0,00	+	
59	ДСУ05У-1400-1-411	-68,91	43,23	38,00	-11,25	-6,40	0,00	+	
60	ДСУ05У-1400-1-411	68,91	43,23	38,00	11,25	-6,40	0,00	+	
61	ДСУ05У-1400-1-411	-70,35	-42,01	37,00	-31,20	32,40	0,00	+	+
62	ДСУ05У-1400-1-411	70,35	-42,01	37,00	31,20	32,40	0,00	+	+
63	ДСУ05У-1400-1-411	-70,35	42,01	37,00	-31,20	-32,40	0,00	+	+
64	ДСУ05У-1400-1-411	70,35	42,01	37,00	31,20	-32,40	0,00	+	+
65	ДСУ05У-1400-1-411	-69,66	-42,57	38,00	-7,97	31,97	0,00	+	+
66	ДСУ05У-1400-1-411	69,66	-42,57	38,00	7,97	31,97	0,00	+	+
67	ДСУ05У-1400-1-411	-69,66	42,57	38,00	-7,97	-31,97	0,00	+	+
68	ДСУ05У-1400-1-411	69,66	42,57	38,00	7,97	-31,97	0,00	+	+
69	ДСУ05У-1400-1-411	-66,91	-44,48	37,00	37,50	-21,40	0,00	+	+
70	ДСУ05У-1400-1-411	66,91	-44,48	37,00	-37,50	-21,40	0,00	+	+
71	ДСУ05У-1400-1-411	-66,91	44,48	37,00	37,50	21,40	0,00	+	+
72	ДСУ05У-1400-1-411	66,91	44,48	37,00	-37,50	21,40	0,00	+	+
73	ДСУ05У-1400-1-411	-69,66	-42,57	36,00	-35,80	1,10	0,00	+	
74	ДСУ05У-1400-1-411	69,66	-42,57	36,00	35,80	1,10	0,00	+	
75	ДСУ05У-1400-1-411	-69,66	42,57	36,00	-35,80	-1,10	0,00	+	
76	ДСУ05У-1400-1-411	69,66	42,57	36,00	35,80	-1,10	0,00	+	
77	ДСУ05У-1400-1-411	-68,96	-43,27	37,00	-23,30	-18,60	0,00	+	
78	ДСУ05У-1400-1-411	68,96	-43,27	37,00	23,30	-18,60	0,00	+	
79	ДСУ05У-1400-1-411	-68,96	43,27	37,00	-23,30	18,60	0,00	+	
80	ДСУ05У-1400-1-411	68,96	43,27	37,00	23,30	18,60	0,00	+	
81	ДСУ05У-1400-1-411	-69,60	-42,68	37,00	-18,36	31,80	0,00	+	
82	ДСУ05У-1400-1-411	69,60	-42,68	37,00	18,36	31,80	0,00	+	
83	ДСУ05У-1400-1-411	-69,60	42,68	37,00	-18,36	-31,80	0,00	+	
84	ДСУ05У-1400-1-411	69,60	42,68	37,00	18,36	-31,80	0,00	+	
85	ДСУ05У-1400-411	-68,96	-43,27	35,00	-48,60	-22,74	0,00	+	
86	ДСУ05У-1400-411	68,96	-43,27	35,00	48,60	-22,74	0,00	+	

87	ДСУ05У-1400-411	-68,96	43,27	35,00	-48,60	22,74	0,00	+	
88	ДСУ05У-1400-411	68,96	43,27	35,00	48,60	22,74	0,00	+	
89	ДСУ05У-1400-411	-65,85	-45,27	35,00	-31,12	-31,70	0,00	+	
90	ДСУ05У-1400-411	65,85	-45,27	35,00	31,12	-31,70	0,00	+	
91	ДСУ05У-1400-411	-65,85	45,27	35,00	-31,12	31,70	0,00	+	
92	ДСУ05У-1400-411	65,85	45,27	35,00	31,12	31,70	0,00	+	
93	ДСУ05У-1400-411	-67,04	-44,57	36,00	-22,90	-32,05	0,00	+	
94	ДСУ05У-1400-411	67,04	-44,57	36,00	22,90	-32,05	0,00	+	
95	ДСУ05У-1400-411	-67,04	44,57	36,00	-22,90	32,05	0,00	+	
96	ДСУ05У-1400-411	67,04	44,57	36,00	22,90	32,05	0,00	+	