

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

ДО проведення практичних занять
із навчальної дисципліни

«ОСВІТЛЮВАННЯ МІСТ ТА СПОРТИВНИХ СПОРУД»

*(для студентів денної і заочної форм навчання
зі спеціальності*

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2019

Методичні рекомендації до проведення практичних занять з навчальної дисципліни «Освітлення міст та спортивних споруд » (для студентів денної і заочної форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : О. М. Ляшенко, Ю. О. Васильєва. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 15 с.

Укладачі : канд. техн. наук Ю. О. Васильєва,
ст. викл. О. М. Ляшенко

Рецензент

Л. А. Назаренко, доктор технічних наук, професор Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою світлотехніки і джерел світла,
протокол № 6 від 18.03.2019.*

ВСТУП

Методичні рекомендації містять вказівки щодо самостійної опрацювання теоретичного матеріалу з дисципліни «Освітлювання міст та спортивних споруд».

Основними завданнями вивчення дисципліни «Освітлювання міст та спортивних споруд» є вивчення нормативних документів для проектування систем утилітарного освітлення, критеріїв вибору елементів освітлювальних установок (ОУ) спортивних споруд, теоретичних основ розрахунків кількісних і якісних характеристик ОУ; набуття практичних навичок проектування установок зовнішнього освітлення міст та спортивних споруд і виконання розрахунків їх параметрів.

Для ефективно організації практичної роботи студентів з цієї дисципліни у цих вказівках сформульовані і наведені теоретичні питання для вирішення фахових завдань, пов'язаних з прийняттям проектних рішень та розрахунком параметрів систем зовнішнього освітлення і спортивних споруд.

Для прискорення оволодіння навичками розрахунку освітлювальних установок зовнішнього і спортивного освітлення наведені приклади розв'язання типових завдань при їх проектуванні.

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРОЖЕКТОРНОГО ОСВІТЛЕННЯ

У будь-якій установці, що створює на об'єкті заданий рівень густини енергії оптичного випромінювання, необхідний пристрій, який перерозподіляє променевий потік джерела в просторі. Цей пристрій повинен бути таким, щоб майже весь потік джерела направлявся на освітлювані об'єкти й розподілявся на їхній поверхні відповідно до заданого закону. Пристрої, здатні перерозподіляти світловий потік у просторі, об'єднані у велику групу приладів, які називаються світловими.

Світлові прилади, які здійснюють максимальну концентрацію світлового потоку у заданому напрямку, називаються прожекторними.

Освітлювальні та світлосигнальні прожектори можуть бути поділені на світлові прилади для зовнішнього і внутрішнього освітлення та сигналізації.

Прожектори для зовнішнього освітлення поділяються на прожектори загального призначення, zenітні, морські й річкові, аеродромні, для транспортних засобів, теле- та кінозйомочні, охоронного освітлення, спеціальні. При цьому під прожекторами загального призначення розуміються світлові прилади для освітлення великих відкритих просторів, в тому числі відкритих виробок, стадіонів, залізнодорожних вузлів, великих площ, крупних будівельних площадок, стартових комплексів та ін., а також фасадів будівель, архітектурних споруд та пам'ятників. До числа спеціальних прожекторів можна віднести також світлові прилади інфрачервоного освітлення, які забезпечують можливість бачення в темний час доби, та прожектори, які встановлюються на кранах, екскаваторах і бурових платформах, що піддаються високим ударним та вібраційним навантаженням, а також прожектори, які працюють в екстремальних умовах відкритого космосу або підводних глибин.

Світлосигнальні прожектори поділяються на аеродромні, морські, річкові, для транспортних засобів, світлофори та спеціальні.

Прожектори для внутрішнього освітлення представлені в основному театральними, студійними та експозиційними світловими приладами, а також світловими приладами прожекторного класу для створення динамічних світлових ефектів.

Сучасні прожектори є однією з найбільш складних та дорогих груп світлових приладів, до яких висуваються високі вимоги точності виготовлення та надійності роботи. Прожектори, як правило, працюють з лампами великої потужності, мають найбільш крупногабаритні та складні оптичні системи, відрізняються високою теплонапруженістю конструкцій, в основному являються рухомими, регульованими пристроями, часто з дистанційним керуванням.

Діапазон зміни параметрів прожектора надзвичайно великий. У відповідності з основним призначенням та висунутими вимогами дальність дії прожектора може коливатися від кількох метрів до десятків кілометрів. Відповідно змінюються діаметри світлових отворів приладів, потужності

застосованих джерел світла, максимальні сили світла та кути розсіювання світлових приладів, а також їх маса.

Сучасні прожектори загального освітлення розраховані в основному на роботу з розрядними лампами високого тиску 1, 2 та 3,5 кВт, а також (але значно рідше) з галогенними лампами розжарювання 1, 2, 5 кВт та натрієвими лампами низького тиску потужністю до 180 Вт.

Останнім часом помітною є тенденція використання у прожекторах короткодугових металогалогенних ламп та галогенних ламп розжарювання з концентрованим світним тілом, що дозволяє суттєво зменшити габарити прожектора й покращити їх параметри.

Більшість прожекторів цієї групи – круглосиметричні світлові прилади з параболічними дзеркальними відбивачами з розрядними лампами високого тиску, розміщеними вздовж оптичної осі, й симетричні прожектори з прямокутними вихідними отворами, параболоциліндричними дзеркальними відбивачами та розрядними лампами високого тиску, встановленими за поздовжньою віссю світлового приладу. Найбільш ефективно в цих прожекторах використовуються металогалогенні лампи, значно в меншій степені – натрієві лампи високого тиску та дугові ртутні лампи, при цьому натрієві лампи високого тиску потужністю 0,4 та 1 кВт застосовуються в основному в прожекторах для архітектурного освітлення фасадів будівель та деяких пам'ятників, а також для невеликих спортивних споруд, а прожектори з натрієвими лампами низького тиску – для будівельних площадок, кар'єрів, транспортних розв'язок.

Круглосиметричні прожектори з металогалогенними лампами потужністю 2 та 3,5 кВт мають відповідно діаметри відбивачів 550–600 та 850–900 мм, максимальні сили світла 5,5 та 10,8 Мкд та кути розсіювання від $2 \times 11^\circ$ до $2 \times 22^\circ$. Параболоциліндричні прожектори з лампами ДРІ потужністю 2 та 3,5 кВт мають, як правило, розмір вихідного отвору 700×500 та 800×700 мм, $I_{\max} = 0,35\text{--}0,95$ та $1,3\text{--}3,5$ Мкд та кути розсіювання від $(2 \times 10)\text{--}(2 \times 42)^\circ$ до $(2 \times 45)\text{--}(2 \times 55)^\circ$ в головних площинах для різних прожекторів з обома видами ламп. При використанні ж короткодугових металогалогенних ламп зменшеної потужності 1,8 кВт (замість 2 кВт) в параболокругових фацетних відбивачах можна зменшити діаметр відбивача до 0,5 м (замість 0,9 м).

Як правило, всі прожектори цієї групи мають ступінь захисту конструкції IP 54, значно рідше розробляються прожектори зі ступенем захисту IP 43, IP 44 та IP 55. Маса таких світлових приладів складає 25–45 кг (без ПРА) і тільки для світлових приладів з лампами потужністю 5 та 2×2 кВт вона доходить до 130 кг.

Дзеркальні відбивачі круглосиметричних прожекторів виготовляють в основному методом ротаційного витискування з листового хімічно чистого або плакірованого алюмінію, який піддається електролітичному з'яскравленню має гладку поверхню. Відбивачі параболоциліндричної форми є штапованими збірними конструкціями, які виготовляються з того ж

матеріалу, також з'яскравленого, але часто мають не лише гладку, але й пластинчасту, рифлену або фактурну поверхню. Захисні скла в усіх прожекторах, як правило, плоскі, безбарвні, нагрівостійкі (типу «сталініт»). Корпуса прожекторів найчастіше виготовляють з силуміну методом литва під тиском (при цьому вони забезпечуються зовнішніми ребрами для збільшення поверхні тепловідводу) та значно рідше – з листового алюмінію методом глибокої витяжки. В багатьох прожекторах циліндричної форми корпус виготовляється з пресованого алюмінієвого профілю, що забезпечує значне зниження трудоемкості та підвищення технічного рівня конструкцій.

При розробці прожекторів та виборі їх оптичної системи досить важливо враховувати не лише форму світлового пучка прожектора, а й те, що світлотехнічні характеристики та термін служби розрядних ламп високого тиску (та особливо металогалогенних ламп) суттєво залежать від положення лампи в просторі. Відхилення від номінального положення призводить до погіршення показників ламп. Особливо чутливі до таких відхилень лінійні галогенні лампи розжарювання, а також металогалогенні (в перших з них від цього суттєво залежить термін служби, а в других – світлова віддача). Найменшого відхилення лампи зазнають у прожекторах з параболоциліндричними відбивачами (при розташуванні ламп вздовж поздовжньої осі прожектора); при повороті таких прожекторів лампа залишається в незмінному положенні, обертаючись навколо своєї осі.

2 ОСОБЛИВОСТІ ПРОЖЕКТОРНОГО ОСВІТЛЕННЯ ВЕЛИКИХ ВІДКРИТИХ ПРОСТОРІВ

Багаторічний досвід використання прожекторного освітлення показав особливо високу ефективність його використання для спортивних споруд, архітектурного й ілюмінаційного освітлення тощо.

Велике поширення прожекторного освітлення пояснюється перш за все тим, що експлуатаційний догляд за прожекторами при їх зосередженому розміщенні на щоглах або на інших висотних спорудах значно простіший, ніж догляд за світильниками, розміщеними на освітлювальній території. Досліджено, що вартість експлуатації установок прожекторного освітлення великих територій в два-три рази менша вартості експлуатації установок з найбільш досконалими світильниками. Крім того, при прожекторному освітленні освітлювальна територія значно менше захаращується опорами та повітряною проводкою. В багатьох випадках розміщення технологічного обладнання або умови виконання робіт не дозволяють встановлювати на освітлювальній території опори зі світильниками (наприклад, на відкритих підстанціях, будівельних площадках, стадіонах) і прожекторне освітлення є єдиною можливою системою освітлення. В деяких випадках прожекторне освітлення вибирається ще й тому, що при ньому створюється значно краще освітлення вертикально розташованих поверхонь, ніж за допомогою світильників.

Слід відзначити, що прожекторне освітлення, крім позитивних якостей, має також недоліки. Вони полягають перш за все у більшій ймовірності засліплення працюючих, ніж при освітленні світильниками; крім того, на освітлювальній території створюються більш різкі тіні, які заважають розпізнаванню різних предметів. Імовірність засліплення значно знижується при правильному виборі висоти установки прожектора, кута його нахилу, та, найголовніше, при правильному виборі місць для їх установки. Щоб уникнути створення різких тіней, прожекторне освітлення повинно бути багатостороннім, тобто кожна ділянка території повинна освітлюватись щонайменше від двох прожекторів, встановлених з різних її сторін.

При виборі місць розташування прожекторів, з метою зменшення вартості виконання освітлювальної установки слід по можливості ширше використовувати наявні на освітлювальній території висотні споруди різного призначення і таким чином скорочувати кількість спеціально встановлюваних прожекторних щогл. При цьому необхідно створити зручність для експлуатаційного догляду за прожекторами та перш за все забезпечити легкий доступ до них як в літній, так і в зимовий період.

Світлові прилади повинні мати високий ступінь захисту від проникнення пилу і вологи. Конструкції і способи монтажу світлових приладів повинні забезпечувати зручне обслуговування освітлювальних установок.

Таблиця 1 – Характеристики освітлення футбольних полів, що рекомендуються (для телевізійних трансляцій)

Клас гри	Розрахунки по відношенню	Вертикальна освітленість			Горизонтальна освітленість			Характеристики ламп	
		Ев кам. середовищ.	нерівно мірність		Ег, середо вищ.	нерівно мірність		Колірна температура лампи	Індекс кольоропередачі
			Лк	U1		U2	Лк		
Міжнародний клас V	Камері прискореної зйомки	1800	0,5	0,7	Від 1500 до 3000	0,6	0,8	Ткол > 4000К	≥ 80 переважно 90
	Фіксованій камері	1400	0,5	0,7					
	Мобільній камері	1000	0,3	0,5					
Національний клас IV і продовження телетрансляції	Фіксованій камері	1000	0,4	0,6	Від 1000 до 2000	0,6	0,8	Ткол > 4000К	≥ 80

3 РОЗРАХУВАННЯ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ

Кінцевою метою розрахунку прожекторної установки є визначення:

- а) числа прожекторів, які треба встановити для створення на освітлюваній площі заданої розрахункової освітленості;
- б) місць установки прожекторних щогл та прожекторів;
- в) висоти установки прожекторів над освітлюваною площиною;
- г) кутів нахилу прожекторів у вертикальній та горизонтальній площинах.

Для орієнтовних розрахунків найчастіше застосовують метод світлового потоку або метод питомої потужності.

Коефіцієнт запасу освітленості при розрахунках прожекторного освітлення з урахуванням підвищеного запилення відбивача та захисного скла прожектора на його світлотехнічні характеристики рекомендується приймати рівним 1,5 [2].

Розрахунок прожекторного освітлення проводиться, задаючись нормованими освітленостями в горизонтальній площині.

При встановленні прожекторів на вершині щогли з кутом нахилу θ біля підніжжя щогли утворюється темна неосвітлена зона. Вона тим більша, чим менший кут θ . Це пояснюється тим, що корпус прожектора екранує світне тіло лампи та відбиваючі частини відбивача в межах кута більше $45\text{--}50^\circ$ в напрямі оптичної осі приладу. Тому доцільно розміщувати вишки з прожекторами таким чином, щоб неосвітлені плями накладались і мали якомога меншу площу.

Вибір кута нахилу прожекторів. При зміні кута нахилу прожектора (кута між напрямом оптичної осі прожектора і горизонтом) значно змінюються освітленість, форма і площа світлової плями. Світлова пляма при куті нахилу прожектора θ , перевищуючому половину кута розсіяння у вертикальній площині ($\theta > \beta_b$), має форму еліпса, при рівності кутів θ і β_b – параболи і при $\theta < \beta_b$ – гіперболи. Коефіцієнт використання світлового потоку в першому випадку буде найбільшим, оскільки весь світловий потік прожектора в межах кута розсіяння потрапляє на освітлювану поверхню. Проте з цього не слід робити висновок про неприйнятність вживання малих кутів нахилу, оскільки в деяких випадках, наприклад при необхідності освітлення далеко розташованих об'єктів або для створення освітленості у вертикальній площині, таке рішення буде раціональним. Численні обчислення показали, що і площа, обмежена кривою рівної освітленості, також змінюється при зміні кута нахилу. При великих кутах нахилу світлова пляма знаходиться в безпосередній близькості від основи прожекторної щогли. Потім із зменшенням кута нахилу вона переміщується все далі і далі від щогли і набуває еліптичну форму. Площа світлової плями спершу зростає до певної межі, а потім починає зменшуватися, і при деякому значенні кута нахилу світлова пляма перетворюється на точку, яка по своєму розташуванню співпадає або знаходиться поблизу точки перетину оптичної осі прожектора з

освітлюваною горизонтальною площиною. Кут нахилу прожектора, при якому площа, обмежена кривою однакової заданої освітленості, має максимальне значення, є найвигіднішим. Визначити цей кут можна шляхом вимірювання і порівняння площі світлової плями при різних кутах нахилу, що вимагає великої витрати часу.

Вирішальними чинниками, що визначають вибір кута нахилу прожекторів, є відстань від прожекторної щогли до освітлюваної ділянки території і практично можлива висота установки прожекторів.

Вежу з прожекторами рекомендується орієнтувати таким чином, щоб якомога рівномірніше освітити майданчик, одночасно намагаючись зайняти мінімальну площу під саму вежу. Для забезпечення рівномірності освітлення недоцільно встановлювати ряд прожекторів однакової потужності, оскільки при цьому більш віддалені точки майданчика доводиться освітлювати більшою кількістю прожекторів. Враховуючи досвід сучасного освітлення, варто використовувати прожектори різної потужності, більшої для віддалених точок, і меншої для точок, розташованих ближче до вежі (рис. 1).

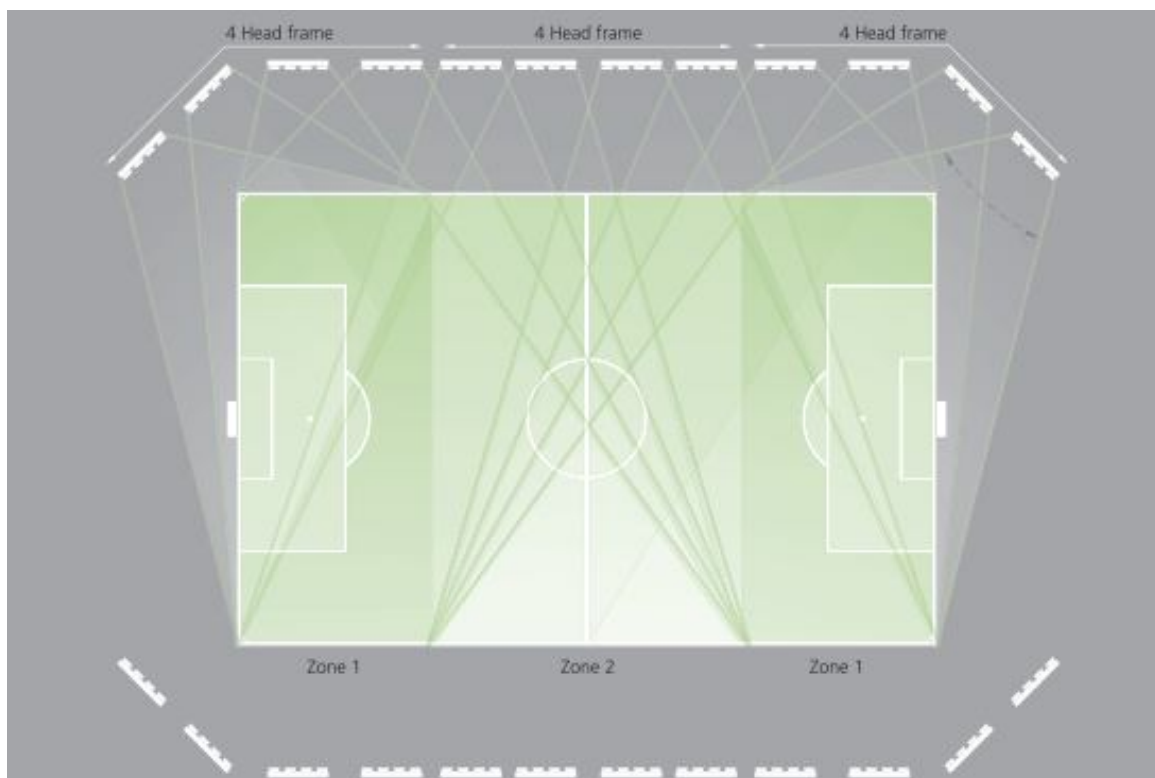


Рисунок 1 – До розрахунку спортивного системи освітлення майданчику

Для обмеження засліпленості від прожекторів за нормативними вимогами відношення осьової сили світла найпотужнішого прожектора з установки до квадрату висоти його встановлення над рівнем ока спостерігача не повинне перевищувати 300 [2].

Згідно з цим мінімально допустима висота установки прожекторів визначається за формулою

$$H = \sqrt{\frac{I_{\max}}{300}} = \sqrt{\frac{1430 \cdot 10^3}{300}} = 70 \text{ м} \quad (3.1)$$

Потрібну кількість прожекторів і загальну встановлену потужність установки прожекторного освітлення попередньо можна визначити спрощеним способом за **методом світлового потоку**.

Необхідну кількість прожекторів визначають за формулою:

$$n = \frac{E_n K S}{\Phi_n \eta u z} \quad (3.2)$$

де E_n – нормована освітленість, лк;

K – коефіцієнт запасу, $K = 1,5$, з міркувань, наведених вище;

S – освітлювана площа, м^2 ;

Φ_n – світловий потік лампи вибраного типу прожектора, лм;

η – ККД прожектора в долях одиниці;

u – коефіцієнт використання світлового потоку прожектора, який визначається розмірами освітлюваної площі, створеної освітленістю та формою кривої світлорозподілу прожектору. Чим більша освітлювана площа, тим менші втрати світлового потоку. При цьому відіграє роль в основному не довжина освітлюваної площі, а її ширина;

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення, рівний відношенню E_{\min} до $E_{\text{ср}}$, який визначається багатьма факторами, зокрема коефіцієнтом підсилення, формою кривої світлорозподілу прожектора, висотою його встановлення та значенням створюваної освітленості.

Вибір для конкретного проектного випадку певного джерела світла і типу прожектора однозначно встановлює значення світлової віддачі і ККД η незалежно від параметрів і призначення освітлюваної площі.

Коефіцієнт використання світлового потоку визначається розмірами освітлюваної площі, створюваної освітленістю і формою кривої розподілу світла прожектора. Чим більше освітлювана площа, тим менше втрати світлового потоку. При цьому значну роль відіграє в основному не довжина освітлюваної площі, а її ширина. Вищі розрахункові освітленості зумовлюють великі кути нахилу прожекторів і тим самим менші втрати світлового потоку.

Коефіцієнт нерівномірності освітлення z визначається багатьма чинниками, зокрема коефіцієнтом посилення, формою кривої розподілу світла прожектора, заввишки його установки і значенням створюваних освітленостей. Як показали розрахунки, коефіцієнт нерівномірності має значно менше значення при створенні освітленості в межах 0,5–1,5 лк, коли застосовується одношарова компоновка ізолюкс.

Після визначення необхідної кількості прожекторів виходячи з параметрів освітлюваної площі, її особливостей і призначення визначається число і місця розташування прожекторних щогл. Цим самим також визначається і число прожекторів, що підлягають установці на кожній з них.

Слід враховувати необхідність забезпечення в міру можливості багатобічного освітлення кожного з об'єктів освітлюваної території. Відстань між щоглами приймається, виходячи з висоти вживаних прожекторних щогл, призначення і особливостей освітлюваної території. При освітленні територій, вільних від затінюючих споруд, великогабаритного устаткування або механізмів (наприклад, кар'єри), відстань між щоглами не повинна перевищувати 15-кратної висоти щогл. За наявності затінюючих споруд це співвідношення повинне бути понижено. В міру можливості для установки прожекторів повинні бути використані висотні споруди, що є на освітлюваній території, і природні підвищення.

3.1 Розрахунок освітленості від одиночного прожектора

Різними авторами в різний час було запропоновано декілька методів розрахунку прожекторного освітлення. Найпростіший і найпоширеніший метод розроблений Р. А. Сапожниковим і Р. М. Кноррінгом. Він заснований на використанні кривих відносних ізолюкс і допоміжних розрахункових таблиць (табл. 2).

Криві відносних ізолюкс (рис. 2, 3) є криві, що з'єднують точки рівної розрахункової освітленості в площині, перпендикулярній оптичній осі прожектора, що знаходиться на відстані 1 м від світлового центру прожектора.

Координатами кожної точки кривих відносних ізолюкс прийняті ξ і η , причому вісь ξ відповідає осі X в системі прямокутних координат і вісь η – осі Y.

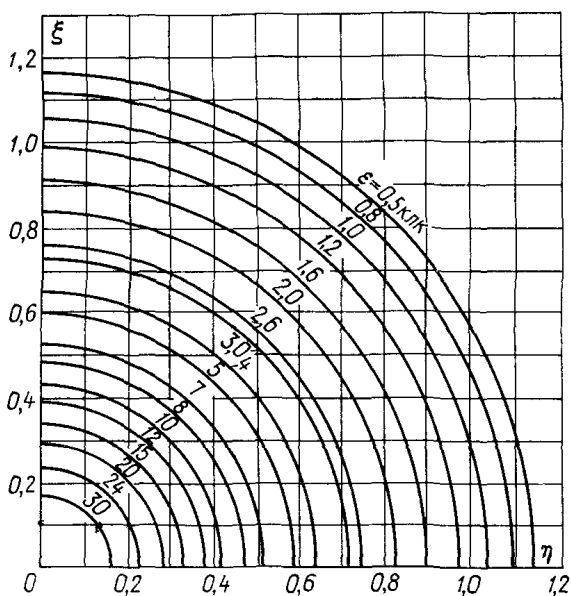


Рисунок 2 – Криві відносних ізолюкс прожектора ПСМ-50 з лампою ДРЛ-700

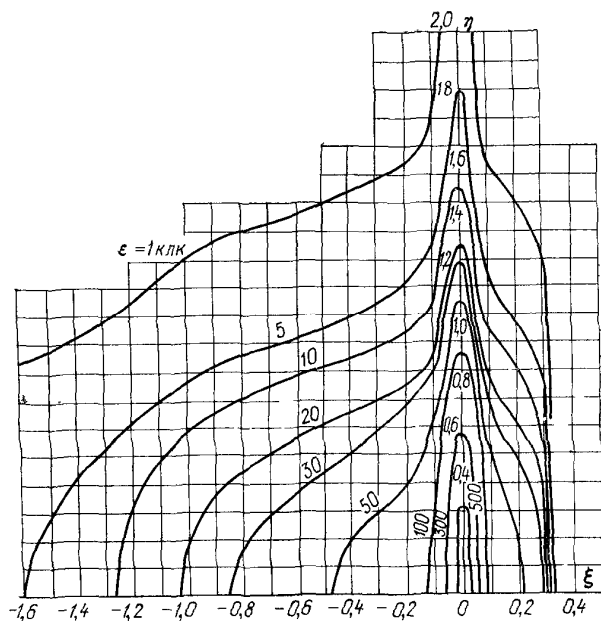


Рисунок 3 – Криві відносних ізолюкс

Не надаючи висновків, вкажемо тільки результуючі формули, необхідні для проведення розрахунків:

$$y = \eta r H; \quad (3.3)$$

Таблиця 2 – Значення параметрів до розрахунку прожекторного освітлення

θ	Пара- метр																										
		1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	13	14	15
8	ξ	0,75	0,49	0,34	0,25	0,19	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08
	ρ	1,13	1,6	2,1	2,6	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1	5,6	6,1	6,6	7,1	7,6	8,1	8,6	9,0	9,5	10	10,5	11	11,5	12	13	14	15
	ρ³	1,42	4,2	9,5	18	30	46	68	97	132	173	225	284	350	430	520	625	740	860	1020	1170	1350	1530	1740	2200	2700	3400
10	ξ	0,7	0,44	0,30	0,21	0,15	0,11	0,07	0,05	0,03	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11
	ρ	1,16	1,6	2,1	2,6	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1	5,6	6,1	6,6	7,1	7,6	8,1	8,5	9,0	9,5	10	10,5	11	11,5	12	13	14	15
	ρ³	1,54	4,5	9,8	18	30	48	69	98	132	174	225	284	353	432	520	625	735	860	1010	1160	1340	1520	1720	2180	2700	3350
12	ξ	0,63	0,40	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	0,01	0,01	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	
	ρ	1,19	1,7	2,2	2,6	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1	5,6	6,1	6,6	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10	10,5	11	11,5	11,9	12,9	13,9	
	ρ³	1,66	4,7	10	19	31	48	70	98	132	174	225	283	350	425	515	620	730	850	995	1150	1320	1500	1700	2150	2700	
14	ξ	0,6	0,35	0,23	0,14	0,08	0,04	0	0,03	0,05	0,07	0,08	0,09	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17			
	ρ	1,21	1,7	2,2	2,7	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1	5,6	6,1	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	9,9	10,4	10,9	11,4	11,9			
	ρ³	1,77	4,9	10	19	31	48	70	98	132	173	222	280	345	425	512	610	720	845	980	1140	1300	1480	1670			
16	ξ	0,56	0,32	0,13	0,10	0,04	0	0,04	0,06	0,09	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20				
	ρ	1,24	1,7	2,2	2,7	3,2	3,6	4,1	4,6	5,0	5,6	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,4	8,9	9,4	9,9	10,4	10,9	11,3				
	ρ³	1,42	5,1	11	19	32	48	70	97	130	172	220	277	343	415	500	600	710	830	960	1110	1200	1450				
18	ξ	0,56	0,28	0,15	0,07	0,01	0,04	0,07	0,10	0,12	0,14	0,15	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23					
	ρ	1,26	1,7	2,2	2,7	3,2	3,6	4,1	4,6	5,1	5,5	6,0	6,5	7,0	7,4	7,9	8,4	8,9	9,3	9,8	10,3	10,8					
	ρ³	2,0	5,2	11	19	32	48	69	97	130	170	216	272	340	410	495	580	700	810	940	1080	1240					
20	ξ	0,47	0,25	0,12	0,04	0,05	0,07	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,24	0,25	0,26	0,26						
	ρ	1,28	1,8	2,2	2,7	3,2	3,6	4,1	4,6	5,0	5,5	6,0	6,4	6,9	7,4	7,9	8,3	8,8	9,3	9,7	10,2						
	ρ³	2,1	5,3	11	19	32	48	68	95	128	167	213	267	330	400	485	580	680	800	920	1060						
22	ξ	0,42	0,21	0,08	0,01	0,06	0,11	0,14	0,17	0,19	0,21	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0,27	0,28	0,25	0,29							
	ρ	1,3	1,8	2,2	2,7	3,2	3,6	4,1	4,5	5,0	5,5	5,9	6,4	6,9	7,3	7,8	8,3	8,7	9,2	9,6							
	ρ³	2,2	5,6	11	19	32	48	68	94	125	163	210	260	320	390	470	500	660	770	890							
24	ξ	0,38	0,17	0,05	0,04	0,10	0,15	0,18	0,21	0,23	0,25	0,26	0,28	0,29	0,30	0,31	0,31	0,32	0,33								
	ρ	1,33	1,8	2,2	2,7	3,1	3,6	4,1	4,5	5,0	5,4	5,9	6,3	6,8	7,3	7,7	8,2	8,6	9,1								
	ρ³	2,3	5,6	11	19	31	47	67	92	123	160	205	255	315	380	460	545	640	750								
26	ξ	0,37	0,14	0,01	0,08	0,14	0,18	0,21	0,24	0,26	0,28	0,30	0,31	0,33	0,34	0,34	0,35	0,36									
	ρ	1,34	1,8	2,2	2,7	3,1	3,6	4,0	4,5	4,9	5,4	5,8	6,3	6,7	7,2	7,6	8,1	8,5									
	ρ³	2,39	5,7	11	19	31	46	65	90	120	156	198	247	305	370	445	525	620									
28	ξ	0,3	0,10	0,03	0,11	0,17	0,22	0,25	0,28	0,30	0,32	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39										
	ρ	1,35	1,8	2,2	2,7	3,1	3,6	4,0	4,4	4,9	5,3	5,8	6,2	6,6	7,1	7,5	8,0										
	ρ³	2,47	5,7	11	19	31	45	64	87	116	151	192	240	295	355	425	505										
30	ξ	0,75	0,07	0,06	0,15	0,20	0,25	0,29	0,32	0,34	0,36	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42											
	ρ	1,13	1,8	2,2	2,7	3,1	3,5	4,0	4,4	4,8	5,3	5,7	6,1	6,6	7,0	7,4											
	ρ³	1,42	5,8	11	19	31	44	62	85	112	145	184	230	283	343	410											

відповідно

$$\eta = y/(\rho H) \quad (3.4)$$

$$\varepsilon = EH^2\rho^3 \quad (3.5)$$

і

$$E = \varepsilon / (H^2\rho^3), \quad (3.6)$$

де ε – відносна освітленість; E – освітленість в розрахунковій точці;
 ρ – допоміжний коефіцієнт, що визначають за таблицею 2.

Визначення освітленості в точці горизонтальної площини проводиться в наступному порядку.

Знаючи висоту установки прожектора H і кут його нахилу θ і вимірявши за планом координати x і y точки, в якій розраховується освітленість, знаходимо відношення x/H і виписуємо з таблиці 2 значення ε , ρ і ρ^3 . За формулою (3.7) визначаємо η :

$$\rho = E_p / \eta_{\text{п}} \eta_{\text{з}} \gamma, \quad (3.7)$$

де γ – світлова віддача використаних ламп, лм/Вт.

Знаючи η і ξ , по графіку відносної освітленості знаходимо значення для ε і за формулою визначаємо освітленість в розрахунковій точці.

Якщо необхідно побудувати криві ізолюкс освітлювального приладу, тобто знайти на площині координати точок, що мають задану освітленість, розрахунок проводиться таким чином.

Задаючись послідовно різними значеннями x/H згідно з таблицею 2, розраховуємо ординату y , при якій точка має необхідну освітленість. Для кожного значення x/H виписуємо з таблиці 2 значення ξ , ρ і ρ^3 , обчислюємо ε за формулою (3.5) і за графіком кривих відносних ізолюкс застосованого типу прожектора або світильника знаходимо η як абсцису точки, ордината якої рівна ξ , а відносна освітленість – обчисленому значенню ε . Далі, за формулою (3.3) знаходимо координату y контрольної точки. Проводячи такі розрахункові операції для декількох значень x/H , одержуємо достатнє число точок для побудови кривої однакової освітленості.

3.2 Освітленість у вертикальній площині

Освітленість в вертикальній площині можна визначити за формулою:

$$E_{\text{в}} = E_{\text{г}}(t_{\text{п}}/h) \quad (3.8)$$

де $E_{\text{г}}$ – освітленість у горизонтальній площині в тій же точці, де розраховується освітленість у вертикальній площині; $t_{\text{п}}$ – найкоротша відстань від проекції світлового центру прожектора на розрахункову площину (рис. 4) до вертикальної площини; H – висота розміщення прожектора над рівнем розташування розрахункової точки А.

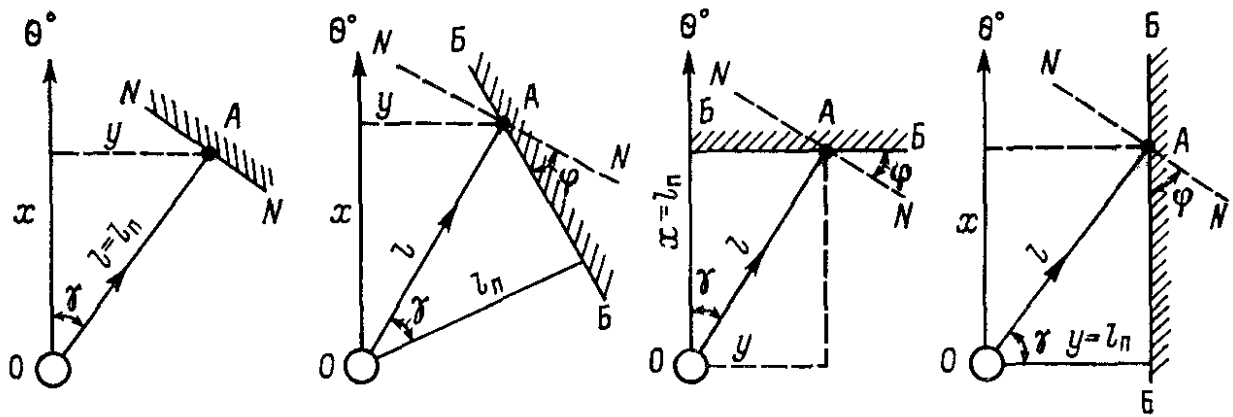


Рисунок 4 – Схеми розташування вертикальних площин

Формула (3.8) справедлива для випадку, коли світловий промінь, що створює освітленість в точці А, лежить в площині, перпендикулярній освітлюваній вертикальній площині. Це положення вертикальної площини характеризується максимумом вертикальної освітленості.

Якщо визначається освітленість у вертикальній площині, що відхилена від нормалі $N-N$ (рис. 4), то в розрахункову формулу (3.8) вводиться додатковий коефіцієнт, рівний $\cos \varphi$.

Розрахункова формула для визначення освітленості у вертикальній площині (незалежно від її розташування) набуває такого вигляду

$$E_B = E_T(t_n/h) \cos \varphi. \quad (3.9)$$

Для окремого випадку, коли вертикальна площина перпендикулярна осі X (рис. 4) і $t_n = x$, а кут $\varphi = y$, розрахунок освітленості можна виконувати за формулою

$$E_B = E_T(x^2/H l). \quad (3.10)$$

При орієнтації вертикальної площини перпендикулярно осі Y (рис. 2) $t_n = y$ і розрахункова формула набуває такого вигляду

$$E_B = E_T(y^2/H l). \quad (3.11)$$

Істотним недоліком точкового методу розрахунку є його клопітливість, що вимагає для проведення розрахунків тривалого часу. Особливо це виявляється при підрахунку горизонтальних і вертикальних освітленостей не від одного, а від багатьох прожекторів або світильників. При проектуванні освітлювальної установки, наприклад, для спортивного стадіону доводиться розраховувати освітленості в дуже багатьох контрольних точках, розташованих не тільки в різноорієнтованих площинах, але і на різних висотах.

Розрахунок освітленості, створеної групою прожекторів, значно складніший від аналогічного розрахунку для одиночного прожектора. На

практиці він здійснюється із застосуванням сучасного програмного забезпечення з великою базою даних, яка містить інформацію про основні світлотехнічні характеристики прожекторів, які найчастіше застосовуються при проектуванні освітлювальних систем, та їх криві однакової освітленості. При розрахунку потрібно лише задати розміри освітлюваної площі, тип прожекторів, які буде використано, їх розташування (точки націлювання). Шляхом поступового підбору, тривалість якого залежить від досвіду проєктанта, підбирають найоптимальніший варіант освітлення об'єкта. В результаті розрахунку отримують рівні освітленості по координатно та у вигляді рисунка, а також кути націлювання прожекторів.

Виробничо-практичне видання

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

ДО проведення практичних занять

із навчальної дисципліни

«ОСВІТЛЮВАННЯ МІСТ ТА СПОРТИВНИХ СПОРУД»

*(для студентів денної і заочної форм навчання
зі спеціальності*

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)

Укладачі: **ВАСИЛЬЄВА** Юлія Олегівна,
ЛЯШЕНКО Олена Миколаївна

Відповідальний за випуск *Ю. О. Васильєва*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2011, поз. 256 М

Підп. до друку 04.04.2017 Формат 60x84/16

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 0,7

Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.