

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

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до проведення практичних занять,
виконання розрахунково-графічної та самостійної робіт
із навчальної дисципліни

**«РОЗУМНЕ ОСВІТЛЕННЯ МІСТ ТА СПОРТИВНИХ
СПОРУД»**

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання зі спеціальності G3 – Електрична інженерія)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2026

Методичні рекомендації до проведення практичних занять, виконання розрахунково-графічної та самостійної робіт із навчальної дисципліни «Розумне освітлення міст та спортивних споруд» (для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності G3 – Електрична інженерія) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : О. М. Ляшенко, О. М. Діденко – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2026. – 65 с.

Укладачі : канд. техн. наук, доц. О. М. Ляшенко,
канд. техн. наук, ст. викл. О. М. Діденко

Рецензент

Л. А. Назаренко, доктор технічних наук, професор кафедри світлотехніки і джерел світла Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою світлотехніки і джерел світла, протокол № 15 від 27.05.2025

Методичні рекомендації призначені для здобувачів спеціальності G3 – Електрична інженерія. Надано алгоритми розв’язання завдань при проектуванні сталих світлових систем зовнішнього освітлення розумного міста, рекомендації щодо виконання розрахунково-графічної роботи і самостійного опрацювання матеріалу з дисципліни «Розумне освітлення міст та спортивних споруд».

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ	5
1.1 Загальні положення прожекторного освітлення.....	5
1.2 Особливості прожекторного освітлення великих відкритих просторів.....	7
1.3 Розрахування системи освітлення.....	9
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ	17
2.1 Завдання до розрахунково-графічної роботи.....	17
2.2 Визначення параметрів вуличних освітлювальних установок.....	22
2.3 Методика вибору варіанта освітлювальної установки за техніко-економічними показниками.....	24
2.4 Світлотехнічні розрахунки освітлювальної установки.....	30
2.5 Приклад виконання розрахунків параметрів системи освітлення вулиці.....	35
2.6 Вимоги до оформлення розрахунково-графічної роботи.....	43
2.7 Критерії оцінювання розрахунково-графічної роботи.....	43
3 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ.....	46
3.1 Питання для самостійної роботи з дисципліни «Розумне освітлення міст та спортивних споруд».....	46
3.2 Приклади розв’язання завдань	47
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59
ДОДАТКИ.....	61

ВСТУП

Основним завданням установок зовнішнього освітлення є створення зорових умов, при яких забезпечується рівень видимості, що дозволяє водіям механізованого транспорту вчасно виявляти й розрізняти різні перешкоди на шляху руху транспорту з відстані в кілька десятків метрів, а пішоходам розрізняти нерівності тротуару й бруківки, побачити огороження й розпізнати зустрічних людей із відстані в кілька метрів.

При проєктуванні вуличних освітлювальних установок мають бути забезпечені:

- а) нормовані величини середньої яскравості покриттів при оптимальних кількісних показниках установок;
- б) раціональне використання електроенергії;
- в) висока надійність освітлення;
- г) безпека обслуговувального персоналу та низка інших вимог, пов'язаних із керуванням освітлювальних установок і зручністю їхнього обслуговування.

В методичних рекомендаціях наведені основні завдання й алгоритми розрахування параметрів освітлювальних систем зовнішнього освітлення, в яких застосовуються світлові прилади прожекторної групи. Надано алгоритми розв'язання завдань при проєктуванні сталих світлових систем зовнішнього освітлення розумного міста, рекомендації щодо виконання розрахунково-графічної роботи і самостійного опрацювання матеріалу з дисципліни «Розумне освітлення міст та спортивних споруд».

Зважаючи на широке застосування світлодіодних прожекторів для великих відкритих просторів (стоянки транспорту, пішохідні майдани, декоративно-художнє освітлення, освітлення відкритих спортивних споруд) розв'язання завдань щодо визначення параметрів освітлювальних установок з прожекторами, що мають певні особливості, необхідні для формування цілісної системи фахових компетенцій і результатів навчання для подальшого застосування у своїй професійній діяльності.

1 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

1.1 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 спрямовувався 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 забезпечують максимальну концентрацію світлового потоку в заданому напрямі, називаються прожекторними.

Освітлювальні та світлосигнальні прожектори можна поділити 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 розуміють світлові прилади для освітлення великих відкритих просторів, в тому числі відкритих виробок, стадіонів, залізнодорожних вузлів, великих площ, крупних будівельних майданчиків, стартових комплексів та ін., а також фасадів будівель, архітектурних споруд та пам'ятників. До 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, здебільшого, 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, є, здебільшого, рухомими, регульованими пристроями, зазвичай з дистанційним керуванням.

Діапазон зміни параметрів прожектора надзвичайно великий. Відповідно до основного призначення та висунутих вимог 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 здебільшого розраховані на роботу з розрядними лампами високого тиску 1, 2 та 3,5 кВт, а також (але значно менше) з галогенними лампами розжарювання 1, 2, 5 кВт та натрієвими лампами низького тиску потужністю до 180 Вт.

Останнім часом помітна тенденція використання у прожекторах світлодіодних блоків для заміни короткодугових металогалогенних ламп з концентрованим світним тілом, що дозволяє суттєво зменшити габарити прожектора й поліпшити 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 менше натрієві лампи високого тиску та дугові ртутні лампи, при цьому натрієві лампи високого тиску потужністю 0,4 та 1 кВт застосовуються, здебільшого, 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 майданчиків, 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, максимальну силу світла – 5,5 та 10,8 Мкд та кути розсіювання від $2^0 \times 11^0$ до $2^0 \times 22^0$. Параболоциліндричні прожектори з лампами ДРІ потужністю 2 та 3,5 кВт мають, як правило, розмір вихідного отвору 700 мм $\times$ 500 мм та 800 мм $\times$ 700 мм, $I_{\max} = 0,35\text{--}0,95$ Мкд і 1,3–3,5 Мкд та кути розсіювання від $(2 \times 10)^0$ – $(2 \times 42)^0$ до $(2 \times 45)^0$ – $(2 \times 55)^0$ в головних площинах для різних прожекторів з обома видами ламп. При використанні 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 менше розробляються прожектори зі ступенем захисту IP 43, IP 44 та IP 55. Маса таких світлових приладів становить 25–45 кг (без ПРА) і тільки для світлових приладів з лампами потужністю 5 кВт та 2 $\times$ 2 кВт вона доходить до 130 кг.

Дзеркальні відбивачі круглосиметричних прожекторів здебільшого виготовляють методом ротаційного витискання з листового хімічно чистого або плакірованого алюмінію, який піддається електролітичному з'яскравленню і має гладку поверхню. Відбивачі параболоциліндричної

форми є штампованими збірними конструкціями, які виготовляються з того самого матеріалу, також з'яскравленого, але зазвичай мають не лише гладку, але й пластинчасту, рифлену або фактурну поверхню. Захисне скло в усіх прожекторах, як правило, плоске, безбарвне, нагрівостійке (типу «сталініт»). Корпуси прожекторів зазвичай виготовляють із силуміну методом литва під тиском (при цьому вони забезпечуються зовнішніми ребрами для збільшення поверхні теплопровідності) та значно менше – з листового алюмінію методом глибокої витяжки. В багатьох прожекторах циліндричної форми корпуси виготовляють з пресованого алюмінієвого профілю, що забезпечує значне зниження трудоємкості та підвищення технічного рівня конструкцій.

Під час розроблення прожекторів та вибору їх оптичної системи важливо враховувати не лише форму світлового пучка прожектора, а й те, що світлотехнічні характеристики та термін служби розрядних ламп високого тиску (особливо металогалогенних ламп) значною мірою 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 (у перших із 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.

1.2 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.

Значне поширення прожекторного освітлення пояснюється, насамперед, 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. Встановлено, 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 майданчиках, стадіонах) і прожекторне освітлення є єдиною можливою системою освітлення. В деяких випадках прожекторне освітлення обирається ще й тому, що при ньому створюється значно краще освітлення вертикально розташованих поверхонь, ніж за допомогою світильників.

Варто зазначити, що прожекторне освітлення, крім позитивних якостей, має також недоліки. Вони полягають, насамперед, у більшій імовірності засліплення працівників, 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. Для уникнення створення різких тіней потрібно застосовувати багатостороннє прожекторне освітлення, тобто кожна ділянка території повинна освітлюватися щонайменше від двох прожекторів, встановлених із різних її сторін. З метою зменшення вартості виконання освітлювальної установки при виборі місць розташування прожекторів потрібно якомога 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, насамперед, забезпечити легкий доступ до них як в літній, так і в зимовий періоди. 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 1.1 – Характеристики освітлення футбольних полів, що рекомендуються для телевізійних трансляцій

Клас гри	Розрахунки по відношенню	Вертикальна освітленість			Горизонтальна освітленість			Характеристики ламп	
		Ев кам., середовищ	Нерівномірність		Ег, середовищ .	нерівномірність		Колірна температура лампи	Індекс кольоропередачі
		Лк	U1	U2	Лк	U1	U2	Ткол	Ra
Міжнародний клас V	Камери прискореної зйомки	1 800	0,5	0,7	Від 1 500 до 3 000	0,6	0,8	Ткол > 4 000К	≥ 80 переважно 90
	Фіксовані камери	1 400	0,5	0,7					
	Мобільні камери	1 000	0,3	0,5					
Національний клас IV і продовження телетрансляції	Фіксовані камери	1 000	0,4	0,6	Від 1 000 до 2 000	0,6	0,8	Ткол > 4 000К	≥ 80

1.3 Розрахування системи освітлення

Кінцевою метою розрахування прожекторної установки є визначення:

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

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

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

Розрахування прожекторного освітлення проводиться відповідно до нормованих освітленостей 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 корпусом прожектора екрану є світне тіло лампи та відбиваючі частини відбивача в межах кута більше ніж $45\text{--}50^\circ$ в напрямі оптичної осі приладу. Тому доцільно розміщувати вишки з прожекторами так, 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 , що перевищує половину кута розсіювання 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 розсіювання потрапляє на освітлювану поверхню. Проте з цього не потрібно 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 розміщується в безпосередній близькості від основи прожекторної щогли. Потім, зі зменшенням кута нахилу, вона переміщується все далі і далі від щогли і набуває еліптичної форми. Площа світлової плями спочатку збільшується до певної межі, а потім починає зменшуватися, і при деякому значенні кута нахилу світлова пляма перетворюється на точку, яка за своїм розташуванням співпадає або розміщується поблизу точки перетину оптичної

осі прожектора з освітлюваною горизонтальною площиною. Кут нахилу прожектора, при якому площа, обмежена кривою однакової заданої освітленості, має максимальне значення, найвигідніший. Визначити цей кут можна шляхом вимірювання і порівняння площі світлової плями при різних кутах нахилу, що потребує багато 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 не доцільно 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. 1.1).

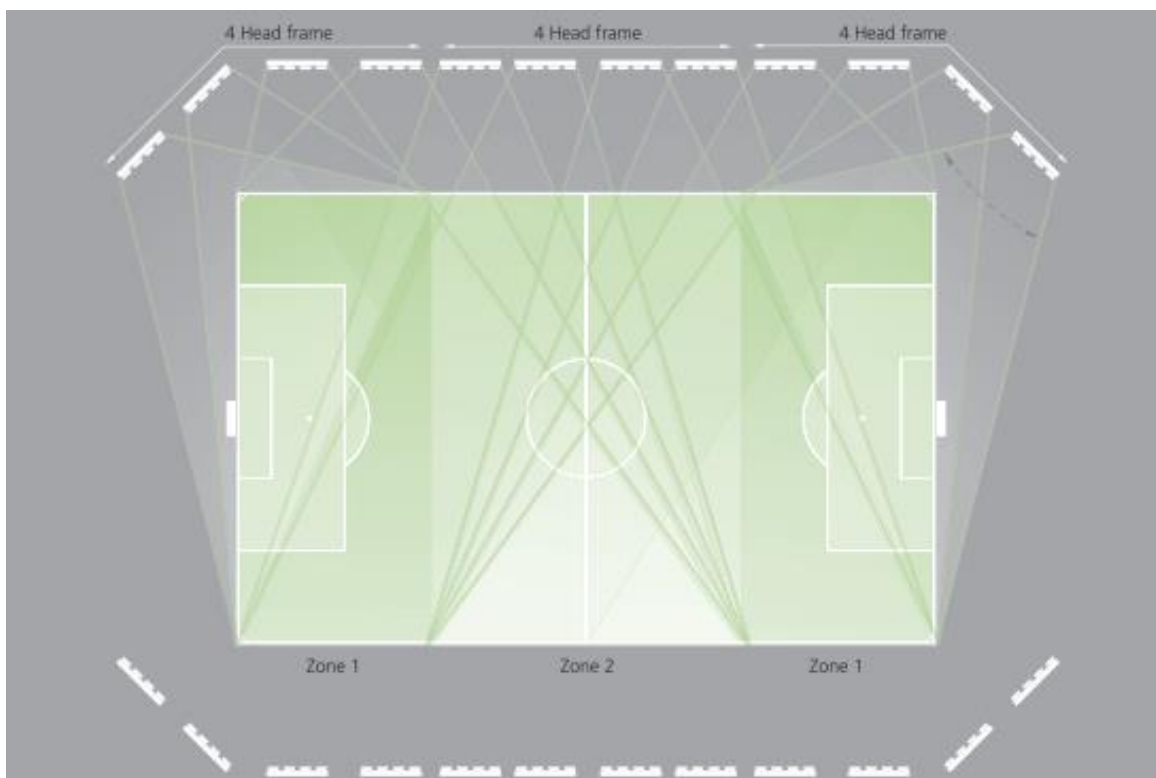


Рисунок 1.1 – До розрахунку спортивного системи освітлення майданчика

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].

З огляду на це мінімально допустима висота установки прожекторів визначається за формулою

$$H = \sqrt{\frac{I_{\max}}{300}} = \sqrt{\frac{1430 \cdot 10^3}{300}} = 70 \text{ м.} \quad (1.1)$$

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

$$n = \frac{E_n K S}{\Phi_{\lambda} \eta u z}, \quad (1.2)$$

де E_n – нормована освітленість, лк;

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

S – освітлювана площа, м^2 ;

Φ_{λ} – світловий потік лампи обраного типу прожектора, лм;

η – ККД прожектора в частках 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 здебільшого відіграє роль не довжина освітлюваної площі, а її ширина;

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення, що дорівнює 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 більша освітлювана площа, тим менші втрати світлового потоку. При цьому важливу роль зазвичай відіграє не довжина освітлюваної площі, а її ширина. Вищі розрахункові освітленості зумовлюють великі кути нахилу прожекторів і, таким чином, менші втрати світлового потоку.

Коефіцієнт нерівномірності освітлення z визначається багатьма чинниками, зокрема коефіцієнтом посилення, формою кривої розподілу світла прожектора стосовно висоти 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 ізольокс.

Після визначення необхідної кількості прожекторів, виходячи з параметрів освітлюваної площі, її особливостей і призначення, визначається кількість і місця розташування прожекторних щогл. Таким чином

визначається також і кількість прожекторів, які підлягають установці на кожній із них.

Потрібно враховувати необхідність забезпечення за можливості багатобічного освітлення кожного об'єкта освітлюваної території. Відстань між щоглами приймається виходячи з висоти вживаних прожекторних щогл, призначення і особливостей освітлюваної території. При освітленні територій, вільних від затінювальних споруд, великогабаритного устаткування або механізмів (наприклад, кар'єри), відстань між щоглами не повинна перевищувати 15-кратної висоти щогл. За наявності затінювальних споруд це співвідношення потрібно зменшити. За можливості для установлення прожекторів повинні використовуватися висотні споруди, розміщені на освітлюваній території, і природні підвищення.

Розрахування освітленості від одиничного 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 базується на використанні кривих відносних ізолюкс і допоміжних розрахункових таблиць (табл. 1.2).

Криві відносних ізолюкс (рис. 1.2, 1.3) – це криві, що з'єднують точки рівної розрахункової освітленості в площині, перпендикулярній оптичній осі прожектора, що розміщується на відстані 1 м від світлового центру прожектора.

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

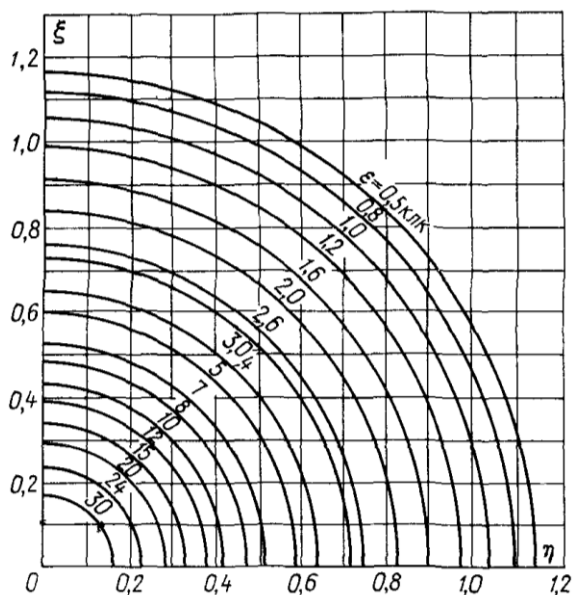


Рисунок 1.2 – Криві відносних ізолюкс прожектора ПСМ-50 з лампою ДРЛ-700

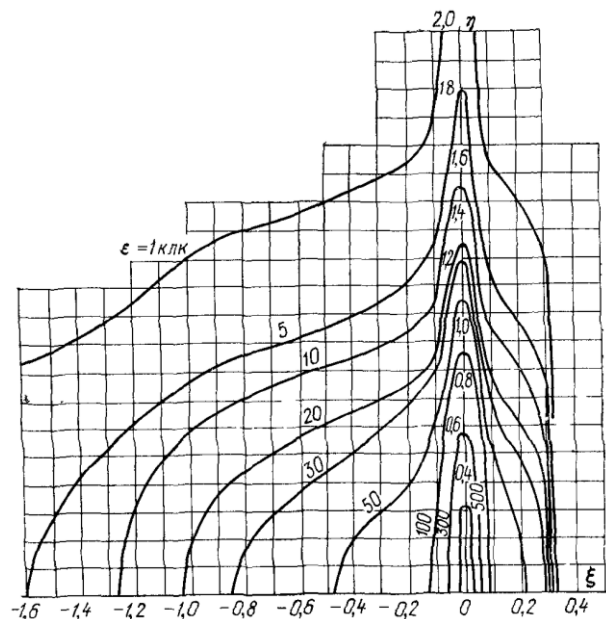


Рисунок 1.3 – Криві відносних ізолюкс

Таблиця 1.2 – Значення параметрів до розрахування 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
	ρ^3	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
	ρ^3	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	
	ρ^3	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			
	ρ^3	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				
	ρ^3	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					
	ρ^3	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						
	ρ^3	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							
	ρ^3	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								
	ρ^3	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									
	ρ^3	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										
	ρ^3	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											
	ρ^3	1,42	5,8	11	19	31	44	62	85	112	145	184	230	283	343	410											

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

$$y = \eta \rho H; \quad (1.3)$$

відповідно

$$\eta = y/(\rho H) \quad (1.4)$$

$$\varepsilon = E H^2 \rho^3 \quad (1.5)$$

і

$$E = \varepsilon / (H^2 \rho^3), \quad (1.6)$$

де ε – відносна освітленість;

E – освітленість в розрахунковій точці;

ρ – допоміжний коефіцієнт, що визначають за таблицею 1.2.

Визначення освітленості в точці горизонтальної площини проводиться в певному порядку.

Знаючи висоту установки прожектора H , 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 1.2 значення ε , ρ і ρ^3 . За формулою (1.7) визначаємо η :

$$\rho = E_p / \eta_{\text{п}} \eta \gamma, \quad (1.7)$$

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

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

Якщо необхідно побудувати криві ізольокс освітлювального приладу, тобто знайти на площині координати точок, що мають задану освітленість, розрахунок проводиться так: задаючись послідовно різними значеннями x/H , згідно з таблицею 1.2, розраховуємо ординату y , при якій точка має необхідну освітленість. Для кожного значення x/H виписуємо з таблиці 1.2 значення ξ , ρ і ρ^3 , обчислюємо ε за формулою (1.5) і за графіком кривих відносних ізольокс застосованого типу прожектора або світильника знаходимо η як абсцису точки, ордината якої рівна ξ , а відносна освітленість – обчисленому значенню ε . Далі за формулою (1.3) знаходимо координату y контрольної точки. Проводячи такі розрахункові операції для декількох значень x/H , одержуємо достатню кількість точок для побудови кривої однакової освітленості.

Освітленість у вертикальній площині

Освітленість у вертикальній площині можна визначити за формулою

$$E_v = E_r(t_n/h) \quad (1.8)$$

де E_r – освітленість у горизонтальній площині в тій самій точці, у якій розраховується освітленість у вертикальній площині; t_n – найкоротша відстань від проєкції світлового центру прожектора на розрахункову площину (рис. 1.4)

до вертикальної площини; H – висота розміщення прожектора над рівнем розташування розрахункової точки A .

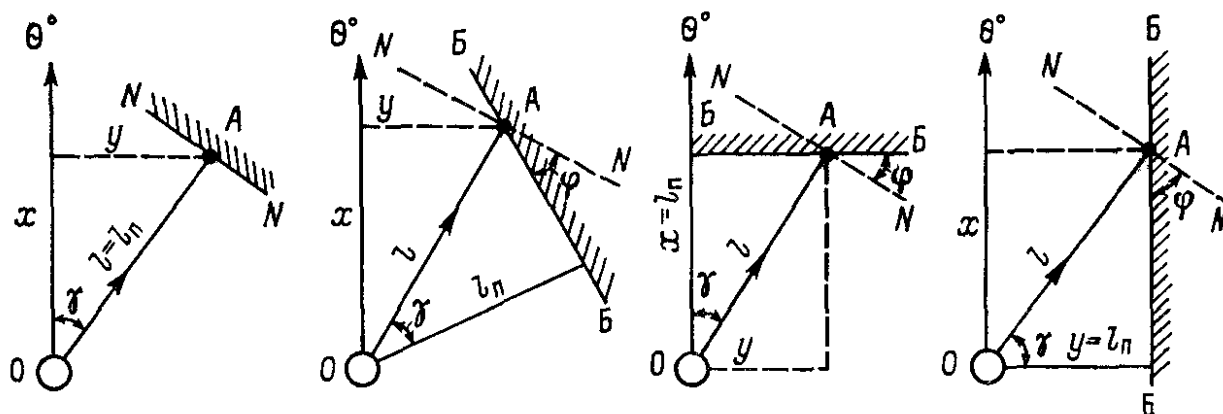


Рисунок 1.4 – Схеми розташування вертикальних площин

Формула (1.8) справедлива для випадку, коли світловий промінь, що створює освітленість у точці A , 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. 1.5), то в розрахункову формулу (1.8) вводиться додатковий коефіцієнт, що дорівнює $\cos \varphi$.

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

$$E_v = E_r(t_n/h)\cos \varphi. \quad (1.9)$$

Для окремого випадку, коли вертикальна площина перпендикулярна осі X (рис. 1.5) і $t_n = x$, а кут $\varphi = y$, розрахунок освітленості можна виконувати за формулою

$$E_v = E_r(x^2/H l). \quad (1.10)$$

При орієнтації вертикальної площини перпендикулярно осі Y (рис. 1.3) $t_n = y$ і розрахункова формула набуває такого вигляду:

$$E_v = E_r(y^2/H l). \quad (1.11)$$

Істотним недоліком точкового методу розрахунку є те, що для проведення розрахунків потрібно багато часу. Особливо це проявляється під час 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 за аналогічний розрахунок для одиничного прожектора. На практиці він здійснюється із застосуванням сучасного програмного забезпечення з великою базою даних, яка містить інформацію про основні світлотехнічні характеристики прожекторів, які зазвичай 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 покоординатно та у вигляді рисунка, а також кути націлювання прожекторів.

2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

2.1 Завдання до розрахунково-графічної роботи

Варіант № ____ (табл. 2.1.)

1. Для заданого варіанта вулиці обрати такі параметри освітлювальної установки:

1.1 Рівень середньої яскравості, середньої освітленості дорожнього покриття проїзної частини й пішохідних зон.

1.2 Джерела світла, які рекомендують для вулиць цієї категорії, і освітлювальні прилади для можливої інтеграції в систему розумного міста.

1.3 Схеми розміщення освітлювальних приладів.

1.4. Аналіз обраних світлових приладів стосовно відповідності вимогам щодо сталого розвитку за стратегією СІЕ.

2. Для варіантів освітлювальних установок, що розглядають, виконати порівняльну техніко-економічну оцінку:

2.1 За величиною встановленої питомої потужності на 1 м² проїзної частини вулиці.

2.2 За мінімумом приведених річних витрат.

2.3 За строком окупності установки. Обрати оптимальний варіант.

3. Для обраного в п. 2 варіанта вуличної освітлювальної установки виконати розрахунок:

- яскравості в окремих точках (не менше трьох);
- середньої яскравості дорожнього покриття;
- освітлювальної установки пішохідних доріг за середньою освітленістю;
- показника засліпленості.

4. Спроекувати установку проїзної частини, тротуарів і пішохідних шляхів вулиці.

Таблиця 2.1 – Параметри вулиць і доріг за варіантами

Варіант	Номер рисунок	Нормована середня яскравість	Параметри вулиць і доріг				Примітка
			а	в	с	q	
1	2	3	4	5	7	8	9
1.1	2.1	0,4	30	7,5	4,0	—	
1.2	2.1	0,4	30	10,5	4,0	—	
1.3	2.1	0,4	30	11,25	4,0	—	
1.4	2.1	0,4	30	12,0	4,0	—	
1.5	2.1	0,4	30	14,0	4,0	—	
1.6	2.1	0,4	30	15,0	4,0	—	
1.7	2.1	0,6	30	7,5	4,0	—	
1.8	2.1	0,6	30	10,5	4,0	—	
1.9	2.1	0,6	30	11,25	4,0	—	
1.10	2.1	0,6	30	12,0	4,0	—	
1.11	2.1	0,6	30	14,0	4,0	—	
1.12	2.1	0,6	30	15,0	4,0	—	
1.13	2.1	0,8	30	7,5	4,0	—	
1.14	2.1	0,8	30	10,5	4,0	—	
1.15	2.1	0,8	30	11,25	4,0	—	
1.16	2.1	0,8	30	12,0	4,0	—	
1.17	2.1	0,8	30	14,0	4,0	—	
1.18	2.1	0,8	30	15,0	4,0	—	
1.19	2.1	1,0	30	12,0	4,0	—	
1.20	2.1	1,0	30	14,0	4,0	—	
1.21	2.1	1,0	30	15,0	4,0	—	
1.22	2.1	1,2	30	12,0	4,0	—	
1.23	2.1	1,2	30	14,0	4,0	—	
1.24	2.1	1,2	30	15,0	4,0	—	
1.25	2.1	0,6	40	15,0	4,0	—	
1.26	2.1	0,6	40	21,0	4,0	—	
1.27	2.1	0,8	40	15,0	4,0	—	
1.28	2.1	0,8	40	21,0	4,0	—	

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	7	8	9
1.29	2.1	1,0	40	15,0	4,0	-	
1.30	2.1	1,0	40	21,0	4,0	-	
1.31	2.1	1,2	40	15,0	4,0	-	
1.32	2.1	1,2	40	21,0	4,0	-	
1.33	2.1	1,6	40	15,0	4,0	-	
1.34	2.1	1,6	40	21,0	4,0	-	
2.1	2.2	0,6	30	5,5	3,0	-	
2.2	2.2	0,6	30	7,5	3,0	-	
2.3	2.2	0,6	40	10,5	3,0	-	
2.4	2.2	0,6	40	12,0	3,0	-	
2.5	2.2	0,6	50	14,0	3,0	-	
2.6	2.2	0,6	50	15,0	3,0	-	
2.7	2.2	0,8	30	6,0	3,0	-	
2.8	2.2	0,8	30	7,0	3,0	-	
2.9	2.2	0,8	40	10,5	3,0	-	
2.10	2.2	0,8	40	12,0	3,0	-	
2.11	2.2	0,8	50	14,0	4,0	-	
2.12	2.2	0,8	50	15,0	4,0	-	
2.13	2.2	1,0	30	6,0	3,0	-	
2.14	2.2	1,0	30	7,5	3,0	-	
2.15	2.2	1,0	40	10,5	3,0	-	
2.16	2.2	1,0	40	12,0	3,0	-	
2.17	2.2	1,0	50	14,0	4,0	-	
2.18	2.2	1,0	50	15,0	4,0	-	
2.19	2.2	1,2	30	6,0	3,0	-	
2.20	2.2	1,2	30	7,5	3,0	-	
2.21	2.2	1,2	40	10,5	3,0	-	
2.22	2.2	1,2	40	12,0	3,0	-	
2.23	2.2	1,2	50	14,0	4,0	-	
2.24	2.2	1,2	50	15,0	4,0	-	
2.25	2.2	1,6	30	6,0	3,0	-	

Закінчення таблиці 2.1

1	2	3	4	5	7	8	9
2.26	2.2	1,6	30	7,5	3,0	-	
2.27	2.2	1,6	40	10,5	3,0	-	
2.28	2.2	1,6	40	12,0	3,0	-	
2.29	2.2	1,6	50	14,0	4,0	-	
2.30	2.2	1,6	50	15,0	4,0	-	
3.1	2.3	0,6	40	6,0	4,0	7	
3.2	2.3	0,6	50	7,5	4,0	7	
3.3	2.3	0,6	50	10,5	4,0	7	
3.4	2.3	0,6	60	12,0	4,0	7	
3.5	2.3	0,8	40	6,0	4,0	7	
3.6	2.3	0,8	50	7,5	4,0	10	
3.7	2.3	0,8	50	10,5	4,0	10	
3.8	2.3	0,8	60	12,0	4,0	10	
3.9	2.3	1,0	40	6,0	4,0	10	
3.10	2.3	1,0	50	7,5	4,0	10	
3.11	2.3	1,0	50	10,5	4,0	10	
3.12	2.3	1,0	60	12,0	4,0	10	
3.13	2.3	1,2	40	6,0	4,0	10	
3.14	2.3	1,2	50	7,5	4,0	10	
3.15	2.3	1,2	50	10,5	4,0	10	
3.16	2.3	1,2	60	12,0	4,0	10	
3.17	2.3	1,2	70	15,0	4,0	10	
3.18	2.3	1,2	80	21,0	4,0	10	
3.19	2.3	1,6	40	6,0	4,0	12	
3.20	2.3	1,6	50	7,5	4,0	12	
3.21	2.3	1,6	50	10,5	4,0	12	
3.22	2.3	1,6	60	12,0	4,0	12	
3.23	2.3	1,6	70	15,0	4,0	12	
3.24	2.3	1,6	80	21,0	4,0	12	

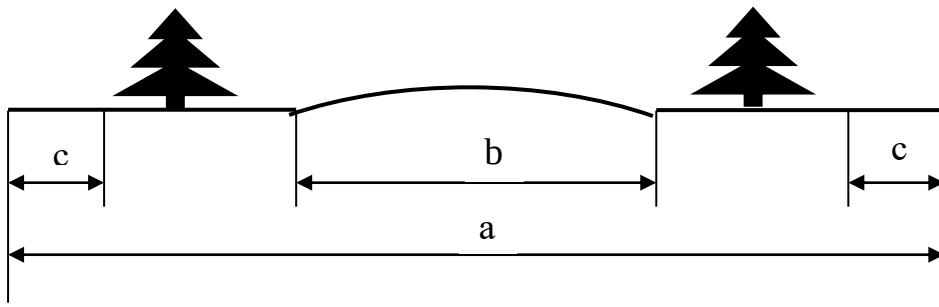


Рисунок 2.1 – Профіль вулиці з однією проїзною частиною

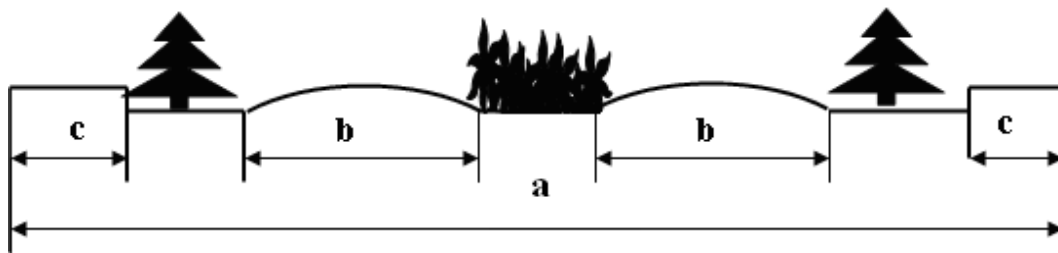


Рисунок 2.2 – Профіль вулиці з двома проїзними частинами

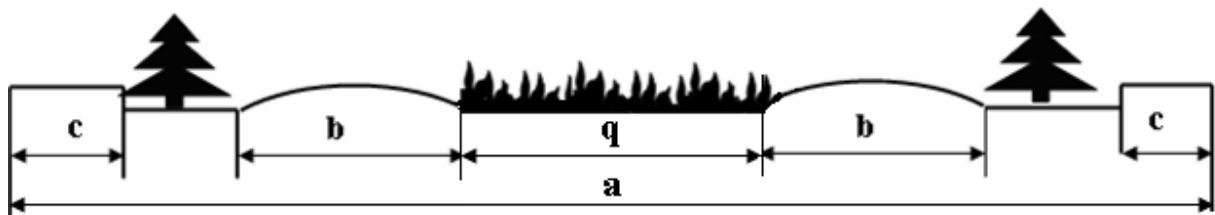


Рисунок 2.3 – Профіль вулиці з двома проїзними частинами та широкою відокремлювальною смугою

2.2 Визначення параметрів вуличних освітлювальних установок

Вибір нормованих значень яскравості й освітленості установок зовнішнього освітлення

Значення яскравості дорожніх покриттів, що визначають рівень видимості об'єктів на освітлених вулицях, залежить від типу покриття (асфальт, бетон і т. ін.), його стану, кута падіння світла.

У нормативних документах, що визначають правила проектування установок зовнішнього освітлення, рівень середньої яскравості дорожнього покриття регламентується виходячи з категорійності вулиць, доріг і площ у містах і робочих селищах, а також автомобільних доріг, що є продовженням вулиць та інтенсивності руху транспорту згідно з таблицею 13 [2].

Значення середньої горизонтальної освітленості пішохідних вулиць, тротуарів приймають згідно з таблицею 14 [2].

Відношення мінімальної яскравості покриття проїзної частини вулиць, доріг і площ до середньої яскравості $L_{\min}/L_{\text{ср}}$ повинне бути не менше 0,4 при нормі середньої яскравості більше ніж 0,6 кд/м² і не менше ніж 0,3 при нормі середньої яскравості 0,6 кд/м² і менше.

Відношення мінімальної яскравості до максимальної вздовж смуги руху повинне бути не менше ніж 0,6 при нормі середньої яскравості більше ніж 0,6 кд/м² і не менше ніж 0,4 при нормі середньої яскравості 0,6 кд/м² і менше.

Для вулиць, площі категорії А і Б регламентований показник засліпленості вуличної освітлювальної установки не повинен перевищувати 150.

Для освітлювальних установок вулиць і доріг категорії В виходячи з умов обмеження засліпленості зменшується мінімальна висота ОП (табл. 10 [2]).

***Вибір джерел світла, системи освітлення, світильників та
їхнього розташування для можливої інтеграції в систему розумного міста***

Вимоги економічності вуличної освітлювальної установки і правильної передачі кольору – головні умови, що визначають вибір ДС і світлових приладів, а також способів їхнього розміщення, вони здійснюються на підставі техніко-економічного розрахунку відповідно до наведеної нижче методики.

Рекомендації щодо застосування різних джерел світла і їхніх сполучень для освітлення проїжджої частини вулиць і доріг, а також зон масового перебування людей наведені у таблиці 15.4 [3].

Освітлювальні прилади, які рекомендують для освітлення вулиць, доріг і площ залежно від типу ДС і світлового потоку, наведені в таблиці 15.5 [3], а схеми їхнього розташування – у таблиці 15.13 [3].



Рисунок 2.4 – Цілі сталого розвитку, визначені СІЕ пріоритетними
щодо систем освітлення

Технічні характеристики окремих світильників, їхній зовнішній вигляд і ескізне креслення подані у таблиці 15.12 [3].

Таблиця 2.2 – Характеристики світлових приладів і ламп

Тип лампи	СВД 1	ДНаТ	СВД 2
Світловий потік, кЛм			
Потужність, Вт			
Строк служби, год			
Тип СП			
Коефіцієнт використання			
Тип КСС			
Вартість, грн			
Спосіб під'єднання до інтелектуальної системи керування			
Протокол керування			

Для підтвердження можливості інтеграції сформованих варіантів освітлення в систему розумного міста необхідно внести дані в рядки «Спосіб під'єднання до інтелектуальної системи керування» і «Протокол керування».

2.3 Методика розрахунку кроку світильників за середньою яскравістю

Крок ліхтарів (опор із світильниками) розраховують за формулою

$$D = \frac{1}{\pi L_{\text{н}} k} \sum_{i=1}^M \eta_{\text{Li}} \phi_{\text{лi}} m_i ,$$

де D – крок ліхтарів, м;

$L_{\text{н}}$ – нормована середня яскравість покриття, кд/м²;

k – коефіцієнт запасу;

b – ширина проїзної частини вулиці чи дороги, м;

M – кількість рядів світильників уздовж освітлюваної смуги;

η_{Li} – коефіцієнт використання за яскравістю світильників i -го ряду;

ϕ_{li} – світловий потік світильника i -го ряду;

m_i – кількість світильників ліхтаря, що належать до i -го ряду.

Коефіцієнт використання яскравості для такого ряду світильників визначають залежно від взаємного розташування цього ряду й освітлюваної смуги за такими формулами:

– при розташуванні ряду світильників над смугою (рис. 2.5, а)

$$\eta_L = \eta'_{L1} + \eta''_{L2},$$

– при розташуванні ряду світильників поза освітлюваною смугою (рис. 2.5, б)

$$\eta_L = \eta'_{L1} - \eta''_{L2},$$

де η'_{L1} – значення коефіцієнта використання за яскравістю для цього типу світильника в напрямі $\beta = 0^\circ$ для відношення b'_1 / h ;

η''_{L2} – те саме у напрямі $\beta = 180^\circ$ для відношення b''_2 / h ;

η'_{L2} – те саме у напрямі $\beta = 0^\circ$ для відношення b'_2 / h .

Значення η_L наведені в каталогах у вигляді кривих $\eta_L = f(b/h)$, а також у таблицях. Для несиметричних світильників подаються дві криві: в бік осі руху $\beta = 0^\circ$ і в протилежний бік – $\beta = 180^\circ$. У випадку застосування світильників, не зазначених у таблицях, коефіцієнт використання за яскравістю може бути визначений за описаною нижче методикою.

Для консольних світильників коефіцієнти використання за яскравістю наводять з урахуванням нахилу світильника під кутом 15° до обрію.

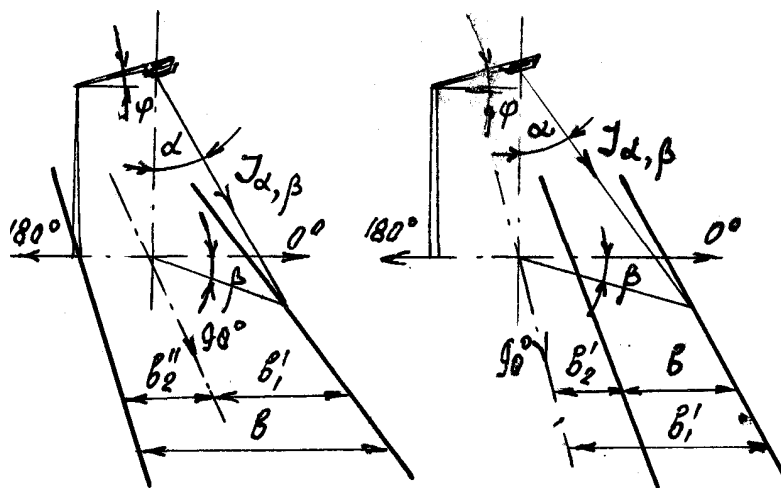


Рисунок 2.5 – Схема відліку кутів при розташуванні світильника:
а – над смугою, що освітлюється; б – поза освітлюваною смугою

Аналіз обраних світлових приладів стосовно відповідності вимогам щодо сталого розвитку за стратегією СІЕ

Використовуючи стратегію СІЕ щодо цілей сталого розвитку освітлювальних систем і рисунок 2.4, проаналізуйте і визначте, як саме обрані світлові прилади для створення системи освітлення вулиці з параметрами за варіантом. Обґрунтування відповідності сформованого варіанта освітлення в розрахунково-графічній роботі потрібно подати у вигляді таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Обґрунтування відповідності характеристик освітлювальної установки вулиці цілям сталого розвитку

Ціль сталого розвитку	Обґрунтування відповідності цілям сталого розвитку

Методика вибору варіанта освітлювальної установки за техніко-економічними показниками

Як критерії економічної оцінки світлотехнічних рішень освітлювальної установки (ОУ) вулиць і доріг приймають:

- величину питомої встановленої потужності;
- розмір питомих приведених витрат;
- строк окупності збільшених капітальних витрат на спорудження ОУ.

Питому встановлену потужність знаходять як потужність ОУ відносно довжини і розраховують за формулою

$$p_0 = \frac{P_{св} \cdot m \cdot M}{D \cdot b},$$

де $P_{св}$ – потужність ламп у світильнику з урахуванням втрат у ПРА, Вт;

$$P_{св} = (p_l + \Delta p_{ПРА}) n_l,$$

де p_l – потужність однієї лампи, Вт;

$\Delta p_{ПРА}$ – величина втрат у ПРА, Вт;

n_l – кількість ламп у світильнику;

m – кількість світильників ліхтаря, що належать до одного ряду.

Питомими приведеними витратами C називається сума експлуатаційних витрат на утримання установки і 15 % витрат на придбання і монтаж світильників, придбання та установку опор, віднесених до довжини вулиці:

$$C = C_i + 0,15K_i.$$

Складовими річних експлуатаційних витрат є:

C_e – питомі витрати на оплату електроенергії, споживаної установкою за рік, грн/м²;

C_l – питома вартість замінюваних протягом року ламп, грн/м²;

$C_{об}$ – питома вартість обслуговування установки за рік, грн/м².

Значення C_e , C_L і $C_{об}$ знаходять за формулами

$$C_e = \xi \rho_0 T q 10^{-3},$$

$$C_L = \frac{K_L n_L T m M}{\tau_L D b},$$

$$C_{об} = \frac{j_{об} (K_c + K_L)}{D b} m M,$$

де ξ – коефіцієнт, що враховує втрати потужності в мережі, дорівнює 1,03;

T – кількість годин використання ОУ за рік, год;

q – вартість 1 кВт/год електроенергії, грн;

K_L – вартість однієї лампи, грн;

K_c – вартість одного світильника без ламп, грн;

τ_L – строк служби ламп, год;

$j_{об}$ – коефіцієнт відносних витрат на обслуговування світильників, дорівнює 0,1.

Розмір питомих річних капіталовкладень на 1 м² знаходять за формулою

$$0,15 K_i = \frac{m M (K_c + K_L) + K_o M}{D \cdot b},$$

де K_o – вартість опори і її монтажу, грн.

Строк окупності τ , рік порівнюваної установки визначають за формулою

$$\tau = \frac{K_{i1} - K_{i2}}{C_{i2} - C_{i1}},$$

де K_{i1} , K_{i2} – питомі капіталовкладення за порівнюваними варіантами, грн;

C_{i1} , C_{i2} – сумарні питомі експлуатаційні витрати на рік за цими самими варіантами, грн.

Визначення показників енергоефективності за EN 13201-5:2015 для одного, обраного із трьох варіантів освітлювальної установки вулиці в розрахунково-графічній роботі

Power Density Indicator (PDI) відповідно до EN 13201-5:2015 визначається за формулою

$$D_p = \frac{P}{\sum_{i=1}^n E_i \cdot A_i},$$

де D_p – загальна потужність ОУ ділянки вулиці на 1 км (Вт/(лк·м²) або Вт/лм;

P – загальна встановлена потужність ОУ вулиці, Вт;

E_i – встановлена середня горизонтальна освітленість дорожнього покриття для цієї категорії вулиці, лк;

A_i – площа ділянки вулиці завдовжки 1 км.

Annual Energy Consumption Indicator (AECI) відповідно до EN 13201-5:2015 визначається, як

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m P_j \cdot t_j}{A},$$

де D_E – індикатор річного споживання електроенергії ОУ вулиці, Вт/лм;

P_j – споживана за j -тий період потужність ОУ вулиці, Вт;

t_j – тривалість j -того періоду роботи ОУ, год;

A_i – площа ділянки вулиці завдовжки 1 км;

m – кількість періодів роботи ОУ, що відрізняються споживаною потужністю ОУ вулиці.

Порівняти результати розрахунків з визначеними за методикою в прикладі розрахунково-графічної роботи. Зробити висновки щодо впливу характеристик освітлювальної установки вулиці на її енергоефективність.

2.4 Світлотехнічні розрахунки освітлювальної установки

Методика розрахунку яскравості в окремих точках

Яскравість дорожнього покриття L у заданих контрольних точках при сукупній дії декількох (не менше 10-ти) освітлювальних приладів

$$L = \sum_{i=1}^n L_i,$$

де n – кількість світильників, що освітлюють розрахункову точку;

L_i – яскравість точки, яку розглядають, освітлювану i -им світильником;

$$L_i = \frac{r_i \cos^3 a_i}{\pi} \cdot \frac{I_{\alpha, \beta}}{h^2},$$

де $\frac{r_i \cos^3 a_i}{\pi}$ – функція коефіцієнта яскравості, знаходять за графіком (рис. 2.6, 2.7);

$I_{\alpha, \beta}$ – сила світла i -го світильника в напрямі розрахункової точки, кд;

h – висота розташування над рівнем дорожнього покриття, м.

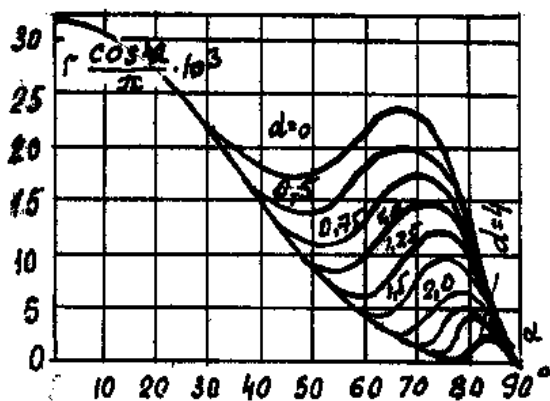


Рисунок 2.6 – Графік для розрахування яскравості асфальтових покриттів

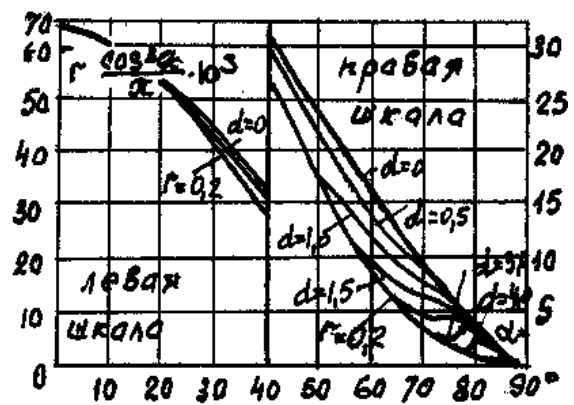


Рисунок 2.7 – Графік для розрахування яскравості бетонних покриттів

Для світильників, що посиляють світловий потік у напрямі спостерігача, значення коефіцієнта яскравості приймають за 0,1.

При нахилі світильника під кутом $Q = 15^\circ$ у точку, яку розглядають, будуть падати промені, що характеризуються кутами $\alpha_{Q=15^\circ}$, $\beta_{Q=15^\circ}$ і зв'язані з кутами α і β такими співвідношеннями:

$$\begin{aligned}\alpha_{Q=15^\circ} &= \arccos(\sin \alpha \cos \beta \sin 15^\circ + \cos \alpha \cos 15^\circ) = \\ &= \arccos(0,259 \sin \alpha \cos \beta + 0,966 \cos \alpha), \\ \beta_{Q=15^\circ} &= \arcsin \frac{\sin \alpha \sin \beta}{\sin \alpha_{Q=15^\circ}}.\end{aligned}$$

Інженерна методика є достатньо складною, тому для отримання точніших результатів було застосоване комп'ютерне моделювання.

Розрахування яскравості в контрольних точках із використанням DIALux evo

Для розрахування світлотехнічних характеристик освітлювальної установки вулиці була застосована спеціалізована програма DIALux evo 13.1, в якій було виконано моделювання вулиці за заданими параметрами і розрахунок нормованих параметрів світлового середовища за таким алгоритмом:

1. Моделювання сцени освітлення – дороги: внесення геометричних, світлотехнічних параметрів вулиці та нормованих характеристик системи освітлення відповідно до European Standard EN 13201-2:2015.

2. Розрахування і оцінювання відповідності параметрів чинним європейським і державним стандартам.

За результатами розрахунків були отримані значення середньої яскравості $L_{ср}$, U_0 (співвідношення $L_{\min}/L_{ср}$), U_1 – відношення $L_{\min} / L_{\max}$ та інші показники, наведені на рисунку 2.8.

	Параметр	Розраховано	Норматив	Відповідність
Тротуар 2 (P1)	E _{сер}	21.12 lx	[15.00 - 22.50] lx	✓
	E _{мін}	16.69 lx	≥ 3.00 lx	✓
Проїжджа частина 2 (МЗ)	L _{сер}	2.04 cd/m ²	≥ 1.00 cd/m ²	✓
	U ₀	0.70	≥ 0.40	✓
	U ₁	0.79	≥ 0.60	✓
	П	11 %	≤ 15 %	✓
	R _{ЕІ}	0.82	≥ 0.30	✓

Рисунок 2.8 – Результати розрахування параметрів розробленої освітлювальної установки вулиці

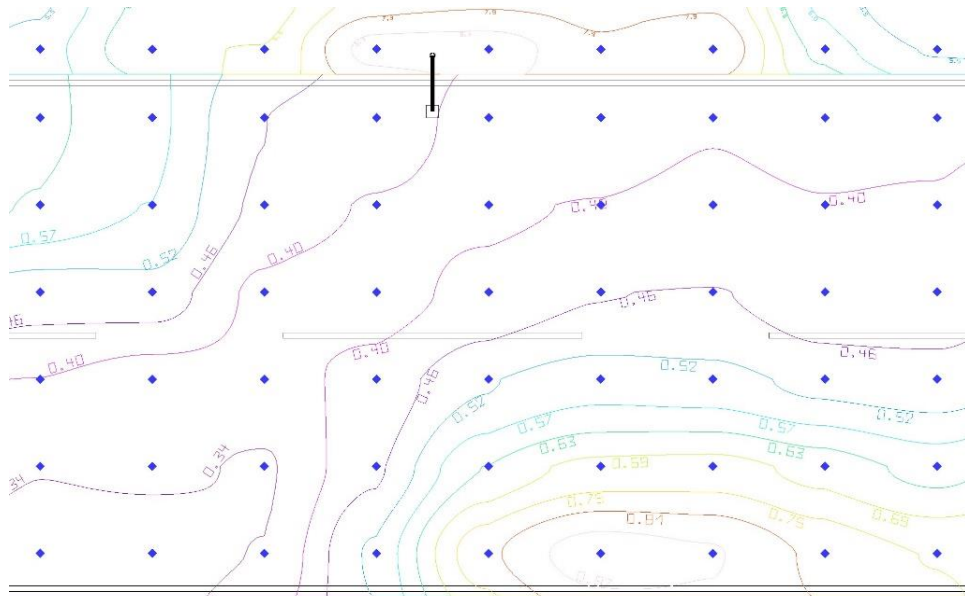


Рисунок 2.9 – Розподіл яскравості по вулиці із заданими параметрами

Розрахування освітлювальної установки пішохідних зон

Розрахування освітлювальної установки пішохідних зон за середньою освітленістю здійснюють за формулою

$$D = \frac{\Phi_{\text{л}} \eta_{\text{Е}} M}{E_{\text{ср}} \cdot \kappa \cdot b},$$

де D – крок світильників, м;

$\Phi_{\text{л}}$ – світловий потік лампи (чи ламп) світильника, лм;

M – кількість рядів світильників;

E_{cp} – нормована середня освітленість, лк;

κ – коефіцієнт запасу;

b – ширина пішохідної дороги чи алеї, м;

η_e – коефіцієнт використання за освітленістю.

Результати розрахунку параметрів і вибору світлових приладів для освітлення пішохідної зони навести в табличній формі за зразком, наведеним у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати вибору і розрахування кількості світлових приладів для тротуару

Тип освітлювального приладу	Φ сп, лм	Ширина, м	b/h	η_e	Еср, лк	Потужність СП, Вт	D, м	N, шт.
Алюра LED	3200	4	1	0,3	5	31	32	32

Розрахування показника засліпленості

Показник засліпленості Р визначають за формулою

$$P = C_{\lambda} C_L \cdot 570 \frac{\sum_{i=1}^M \beta_i}{K L_n},$$

де C_{λ} – коефіцієнт нееквівалентності (для металогалогенних ламп – 1,1; для ламп ДРЛ і світлодіодних джерел світла – 1,3; для натрієвих ламп високого тиску – 0,9);

C_L – коефіцієнт, що залежить від яскравості тла, визначають за графіком (рис. 2.10);

$\sum_{i=1}^M \beta_i$ – сумарна яскравість вуалюючої завіси від М рядів світильників;

K – коефіцієнт запасу;

L_n – нормована середня яскравість, кд/м².

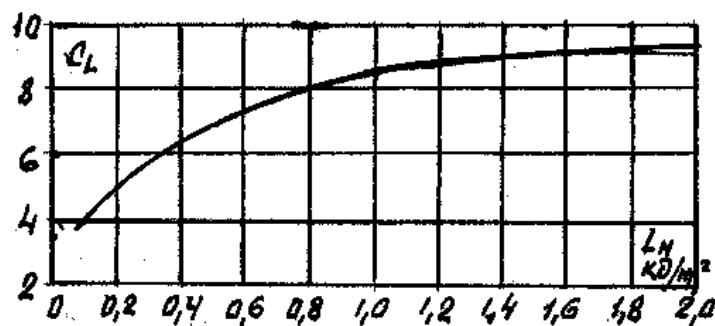


Рисунок 2.10 – Залежність C_L від яскравості L_n

Яскравість вуалюючої завіси β_i від кожного ряду світильників для спостерігача, який розміщується на осі руху, знаходять за формулою

$$\beta_i = \frac{m_i}{3300[(H-h)^2 + \Delta b_i^2]} (0,88I_{75^\circ} + 0,82I_{80^\circ} + 2,1I_{85^\circ} + 1,55I_{90^\circ}),$$

де m_i – кількість світильників на опорі, що належать до цього ряду;

H – висота установки світильників, м;

h – висота очей спостерігача над рівнем проїжджої частини, прийнята рівною 1,5 м;

Δb_i – відстань між вертикальними площинами, що проходять через лінію зору спостерігача й i -й ряд світильників;

$I_{75^\circ} \dots I_{90^\circ}$ – значення сили світла світильника, кд, у площині $\beta = 90^\circ$ під кутами $\alpha = 75^\circ, 80^\circ, 85^\circ$ і 90° .

Показник засліпленості було визначено за наведеною вище методикою, вихідні дані та результати подані в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Результати розрахування показника засліплення

$H, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	β_i	β_i для M	$I_{75^\circ}, \text{ кд}$	$I_{80^\circ}, \text{ кд}$	C_λ	C_L	M	P
8	14	0,000 54	0,009 7	436	47,7	1,3	6,5	2	39,2

$$P_{\text{розр}} = 39,2 < P_{\text{доп}} = 150.$$

Результати розрахунків показника засліплення показали, що розроблена освітлювальна установка вулиці відповідає вимогам щодо обмеження засліплюючої дії.

2.5 Приклад виконання розрахунків параметрів системи освітлення вулиці

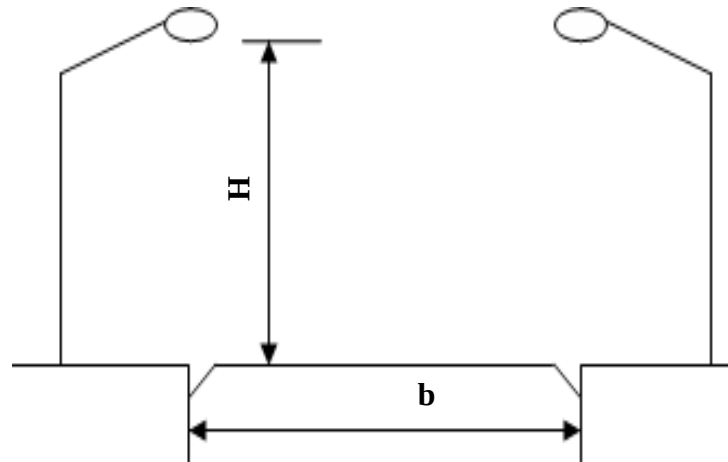


Рисунок 2.11 – Схема розташування освітлювальних приладів дворядна в шаховому порядку

Вихідні дані для розрахунку:

$L_H = 2 \text{ кд/м}^2$, $K_3 = 1,5$, $b = 24 \text{ м}$, $H = 12 \text{ м}$, стояк НФГ-12, $Z = 1\,000 \text{ м}$.

Світильники: РКУ15-400 із ДРЛ 400(10)-4, $\Phi_{\text{л}} = 13\,000 \text{ лм}$, $\tau_{\text{л}} = 15\,000 \text{ год}$.

ГКУ15-400 із ДРИ 400, $\Phi_{\text{л}} = 35\,000 \text{ лм}$, $\tau_{\text{л}} = 12\,000 \text{ год}$.

ЖКУ15-250 із ДнаТ 250, $\Phi_{\text{л}} = 26\,000 \text{ лм}$, $\tau_{\text{л}} = 20\,000 \text{ год}$.

Коефіцієнти використання за яскравістю при $b/H = 2,0$; втрати потужності в ПРА для джерел світла і потужності світильників:

РКУ15 – 400	$\eta_L = 0,092$,	$\Delta\text{РПРА} = 26 \text{ Вт}$	$P_{\text{св}} = 426 \text{ Вт}$
ГКУ15 – 400	$\eta_L = 0,095$	$\Delta\text{РПРА} = 26 \text{ Вт}$	$P_{\text{св}} = 426 \text{ Вт}$
ЖКУ15 - 250	$\eta_L = 0,1$.	$\Delta\text{РПРА} = 20 \text{ Вт}$	$P_{\text{св}} = 270 \text{ Вт}$

1. Розрахування кроку світильників, питомої потужності та кількості світильників:

$$D = \frac{1}{\pi L_h b k} \sum_{i=1}^M \eta_{Li} \Phi_{Li} m_i,$$

$$P_o = \frac{P_{ce} m M}{D b}, \quad P_{ce} = (P_{\lambda} + \Delta P_{IPA}) n_{\lambda}, \quad N = \frac{m z}{D} \cdot M, \quad M = 2.$$

Таблиця 2.6 – Розрахування кроку світильників, питомої потужності та кількості світильників

Варіант	Тип освітлювального приладу	Тип джерела світла	$\Phi_{\text{л}}, \text{лм}$	D, м	$P_o, \text{Вт/м}^2$	N
1	ЖКУ15-250	ДНаТ-250	26 000	22,8	0,986	88
2	ГКУ15-400	ДРИ-400	35 000	29,3	1,21	68
3	РКУ15-400	ДРЛ-400	24 000	19,4	1,82	102

2. Визначення економічної ефективності освітлювальної установки за приведеними витратами.

2.1 Визначення питомої вартості електроенергії замінюваних протягом року ламп і вартості обслуговування (табл. 2.7).

Таблиця 2.7 – Розрахування питомої вартості електроенергії замінюваних протягом року ламп і вартості обслуговування

Варіант	ξ	$P_o, \text{Вт/м}^2$	T, год	$q, \text{грн/ (кВт} \cdot \text{год)}$	$C_e, \text{грн/м}^2$	$K_{\text{л}}, \text{грн}$	M	$T_{\text{л}}, \text{год}$	$C_{\text{л}}, \text{грн/м}^2$	$K_{\text{с}}, \text{грн}$	$C_{\text{об}}, \text{грн/м}^2$
1	1,03	0,986	2 400	0,25	0,609	51,6	2	20 000	0,022	540,0	0,216
2	1,03	1,21	2 400	0,25	0,747	108	2	12 000	0,061	670,2	0,221
3	1,03	1,82	2 400	0,25	1,124	31,4	2	15 000	0,021	422,2	0,194

2.2 Визначення питомих капіталовкладень і питомих витрат, наведених за варіантами (табл. 2.8).

Таблиця 2.8 – Питомі капіталовкладення і питомі витрати за варіантами

Варіант	Кс, грн	Кл, грн	Ко, грн	D, м	ε K, грн/ м²	Се, грн/м²	Сл, грн/м²	Соб, грн/м²	С _i + εK грн/м²	Р _о , Вт/м²
1	540,0	51,6	320	22,8	3,744	0,609	0,022	0,216	4,591	0,986
2	670,2	108,0	320	29,3	3,44	0,747	0,061	0,221	4,469	1,21
3	309-48	31,4	320	19,4	5,75	1,124	0,021	0,194	7,089	1,82

2.3 Визначення питомих річних експлуатаційних витрат і витрат на придбання і монтаж світильників і опор за варіантами (табл. 2.9).

Таблиця 2.9 – Сумарні показники за варіантами

Варіант	С _i = Се + Сл + Соб, грн/м²	εK, грн/м²	С _i + εK, грн/м²
1	0,847	3,744	4,591
2	1,029	3,44	4,469
3	1,339	5,75	7,089

За питомими річними витратами можна встановити, що економічний перший варіант, за питомими витратами на придбання і монтаж світильників та опор – другий.

Визначимо строк окупності освітлювальної установки за першим варіантом порівняно з другим:

$$\tau = \frac{K_1 - K_2}{C_2 - C_1} = \frac{3,744 - 3,44}{1,029 - 0,847} = 1,67, \text{ року.}$$

За сумарними показниками обираємо перший варіант освітлювальної установки.

Розподіл сили світла світильника ЖКУ 15-250 -101/102 в поздовжній

C_0 ($\beta = 90^\circ$) і поперечній C_{90} ($\beta = 0^\circ$) площинах:

α°	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
C_0	220	230	235	240	245	250	255	260	265	275	295	325	370	415	250	100	0
C_{90}	220	210	195	160	140	110	90	80	70	65	60	55	45	30	20	10	0

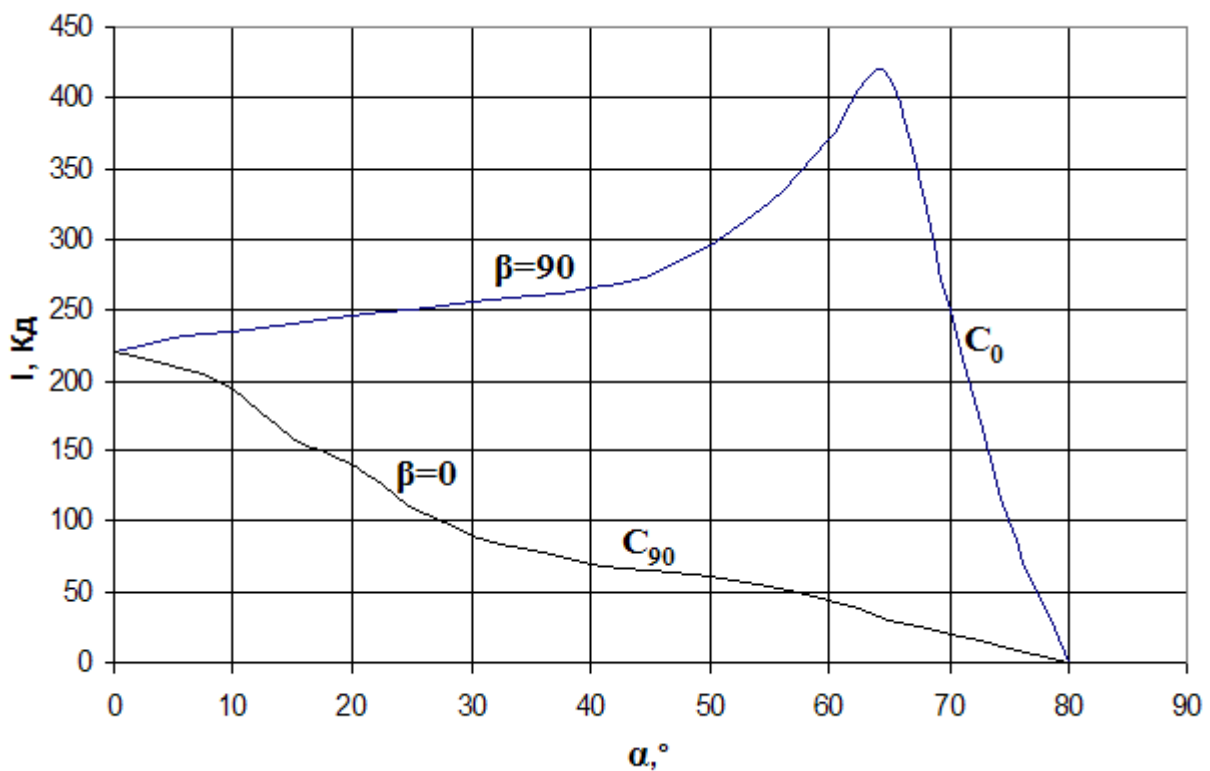


Рисунок 2.12 – Криві розподілу сили світла світильника ЖКУ15-250-101/102 з умовною лампою ($\Phi_{\text{л}} = 1\,000$ лм) у прямокутних координатах

3. Розрахування яскравості в контрольних точках.

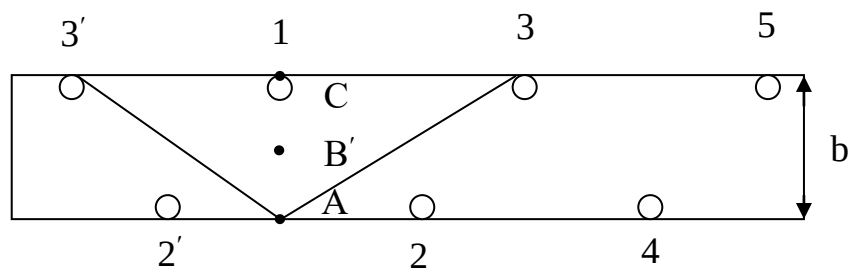


Рисунок 2.13 – Схема розташування світильників і розрахункових точок

Таблиця 2.10 – Розрахування яскравості в контрольних точках А, В і С

Точка	Номер світильника	$b_1, \text{м}$	$l, \text{м}$	$d, \text{м}$	α°	$\cos \alpha$	$\sin \alpha$	β'	$\cos \beta'$	$\sin \beta'$	α°	β°	$\sin \alpha$	$f_{(a,d)}$	$I_{\alpha,\beta}$	$L_i, \text{кД/м}^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
A	1	24	0	24	63	0,454	0,891	0	1,0	0	64	0	0,899	0,003	40	0,021
A	2	0	11,4	11,4	44	0,719	0,695	90	0	1	46	90	0,719	0,017	275	0,844
A	3	24	22,8	33,1	54	0,588	0,809	44	0,719	0,695	44	54	0,695	0,007	193	0,244
A	4	0	34,2	34,2	71	0,326	0,946	90	0	1	72	90	0,951	0,023	200	0,830
A	5	24	45,6	51,53	77	0,225	0,974	62	0,470	0,883	71	65	0,946	0,006	171	0,185
A	6	0	57	57	79	0,191	0,982	90	0	1	82	90	0,139		0	0
A							$\cos^3 \alpha$									
A	2'	0	11,4	11,4	44	0,719	0,372	90	0	1	46	90	0,719		40	0,085
A	3'	24	22,8	33,1	54	0,588	0,203	44	0,719	0,695	44	54	0,695		275	0,321
A	4'	0	34,2	34,2	71	0,326	0,0347	90	0	1	72	90	0,951		193	0,037
A	5'	24	45,6	51,53	77	0,225	0,007	62	0,470	0,883	71	65	0,946		200	0,008
A							$\sin \alpha$									$\Sigma=2,57$
B	1	12	0	12	45	0,707	0,707	0	1,0	0	47	0	0,731	0,011	70	0,139
B	2	12	11,4	16,55	54	0,588	0,809	44	0,719	0,695	44	54	0,695	0,008	190	0,274
B	3	12	22,8	25,76	65	0,423	0,906	63	0,454	0,891	59	70	0,857	0,012	300	0,65

Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
B	4	12	34,2	36,24	72	0,309	0,951	71	0,326	0,946	68	76	0,927	0,015	250	0,677
B	5	12	45,6	47,15	76	0,242	0,970	75	0,259	0,966	73	78	0,956	0,015	160	0,433
B	6	12	57	58,2	78	0,208	0,978	78	0,208	0,978	75	82	0,966	0,013	0	0
B							$\cos^3 \alpha$									
B	2'	12	11,4	16,55	54	0,588	0,203	44	0,719	0,695	44	54	0,695		190	0,221
B	3'	12	22,8	25,76	65	0,423	0,0755	63	0,454	0,891	59	70	0,857		300	0,130
B	4'	12	34,2	36,24	72	0,309	0,0295	71	0,326	0,946	68	76	0,927		250	0,043
B							$\sin \alpha$									$\Sigma=2,57$
C	1	0	0	0	0	1,0	0,0	0	1,0	0,0	15	0	0,259	0,034	160	0,982
C	2	24	11,4	26,56	66	0,407	0,914	25	0,906	0,423	53	29	0,799	0,003	145	0,078
C	3	0	22,8	22,8	62	0,470	0,883	90	0,0	1,0	63	82	0,891	0,023	380	1,578
C	4	24	34,2	41,78	74	0,276	0,961	55	0,574	0,919	66	75	0,914	0,007	250	0,315
C	5	0	45,6	45,6	75	0,259	0,966	90	0,0	1,0	75	90	0,966	0,020	100	0,361
C							$\cos^3 \alpha$									
C	2'	24	11,4	26,56	66	0,407	0,0673	25	0,906	0,423	53	29	0,799		145	0,056
C	3'	0	22,8	22,8	62	0,470	0,103	90	0,0	1,0	63	82	0,891		380	0,225
C	4'	24	34,2	41,78	74	0,276	0,0211	55	0,574	0,919	66	75	0,914		250	0,030
C	5'	0	45,6	45,6	75	0,259	0,0173	90	0,0	1,0	75	90	0,966		100	0,0099
C																$\Sigma=3,62$

Таблиця 2.11 – Розрахування коефіцієнтів використання за освітленістю, яскравістю і середньою яскравістю дорожнього покриття

Зона	ω	$K_{\alpha} = f(b/h),$ ($b/h = 2$)	I_{α} , кд, $\beta = 90^{\circ}$	$\Delta\Phi_{\text{зон } 1},$ $\beta = 90^{\circ}$	I_{α} , кд, $\beta = 0^{\circ}$	$\Delta\Phi_{\text{зон } 2},$ $\beta = 0^{\circ}$	$\Delta\Phi_{\text{пол}},$ лм	$r_{\text{ср}}$	$\Delta\Phi_{\text{пол}} \cdot r_{\text{ср}},$ лм
0–10	0,095	0,5	230	10,95	210	9,975	10,53	0,1	1,053
10–20	0,283	0,5	240	33,96	160	22,64	29,1	0,1	2,91
20–30	0,463	0,5	250	57,875	110	25,46	43,98	0,1	4,398
30–40	0,628	0,5	260	81,64	80	25,12	57,41	0,1	5,741
40–50	0,774	0,5	275	106,42	65	25,155	71,59	0,131	9,37
50–60	0,897	0,5	325	145,76	55	24,66	86,78	0,205	17,78
60–70	0,992	0,37	415	152,31	30	11,01	91,74	0,525	48,16
70–80	1,058	0,16	100	16,92	10	1,69	10,39	2,5	25,975
80–90	1,091	0,06	0	0	0	0	0	0	0
						$\Sigma\Phi_{\text{пол}} = 401,52 \text{ (лм)}$		$\Sigma\Phi_{\text{пол}} \cdot r_{\text{ср}} = 115,38 \text{ (лм)}$	

$$\eta_e = \frac{401,52}{1000} = 0,401, \quad \eta_r = \frac{115,3}{1000} = 0,115;$$

$$\eta_L = \frac{\eta_r + 0,1\eta_e}{2} = \frac{0,115 + 0,1 \cdot 0,401}{2} = 0,0775;$$

$$E_{cp} = \frac{\Phi_n \cdot \eta_e \cdot M}{b \cdot D} = \frac{26000 \cdot 0,401 \cdot 2}{24 \cdot 22,8} = 38,1 \text{ (лк)};$$

$$(L_{cp})_2 = \frac{0,1E_{cp}}{\pi} = \frac{0,1 \cdot 38,1}{3,14} = 1,21 \text{ (кд/м}^2\text{)};$$

$$(L_{cp})_1 = \frac{\Phi_n}{1000 \cdot D \cdot b \cdot \pi} \sum \Delta \Phi_{нол} \cdot r_{cp} = \frac{26000}{1000 \cdot 24 \cdot 3,14 \cdot 22,8} \cdot 115,3 = 1,74 \text{ (кд/м}^2\text{)};$$

$$L_{cp} = (L_{cp})_1 + (L_{cp})_2 = 1,21 + 1,74 = 2,95 \text{ (кд/м}^2\text{)}.$$

$$(E_H \cdot \kappa_3 = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ кд/м}^2\text{)}.$$

Таким чином, яскравість в контрольних точках така: $LA = 2,57 \text{ кд/м}^2$;

$LB = 2,57 \text{ кд/м}^2$ і $LC = 3,62 \text{ кд/м}^2$, а середня яскравість – $L_{cp} = 2,95 \text{ кд/м}^2$.

Відношення мінімальної яскравості до середнього значення $2,57/2,95 = 0,87$, що більше, ніж регламентована величина (не менше 0,4 при нормі більше ніж 0,6 кд/м²).

4. Розрахування показника засліпленості.

Вихідні дані для розрахунку:

$$H = 12 \text{ м}, \quad h_H = 1,5 \text{ м}, \quad \Delta b_i = 12 \text{ м}, \quad C_\lambda = 0,9, \quad C_L = 9,0;$$

$$I_{75} = 100 \text{ кд}, \quad I_{80} = 0 \text{ кд},$$

$$\beta_i = \frac{1}{3300[(12 - 1,5)^2 + 12^2]} \cdot [0,88 \cdot 100] = 1 \cdot 10^{-4}.$$

$$\sum_{i=1}^M \beta_i = 2 \cdot 10^{-4},$$

$$P = 0,9 \cdot 9,0 \cdot 570 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-4}}{1,5 \cdot 1,6} \cdot \frac{26000}{1000} = 10,0$$

$$P_{розрах} = 10,0 < P_{доп} = 150$$

2.6 Вимоги до оформлення розрахунково-графічної роботи

1. Обсяг розрахунково-графічної роботи повинен становити не менше 10-ти сторінок А4 (без урахування додатків), оформлених за вимогами, зазначеними нижче, з обов'язковими розділами, наведеними в змісті.
2. Міжрядковий інтервал – полуторний (або 1,5), шрифт – Times New Roman, розмір – 14 пт, вирівнювання – по ширині. Абзацний відступ має бути однаковим упродовж усього тексту (табуляція, відступ від початку сторінки – 1,25 см).
3. Нумерація сторінок – зверху справа.
4. Перша сторінка не нумерується (потрібно обрати у параметрах сторінки *РОЗРІЗНЯТИ КОЛОНТИТУЛИ* і включити відмітку першої сторінки, тоді цифра 1 не буде відображатися).
5. Рисунки необхідно розташовувати по центру.
6. Назви таблиць наводяться над таблицями, Перед назвою таблиці, між назвою і таблицею, після таблиці перед подальшим текстом потрібно пропускати один рядок.
7. Підписи рисунків, таблиць відокремлювати пустим рядком, нумерація подвійна (2.1, де 2 – номер розділу, 1 номер рисунка в розділі; для таблиць аналогічно).
8. Назви розділів позначати великими літерами посередині сторінки, назви підрозділів – з великої літери посередині сторінки.
9. Після підрозділів перед наступними підрозділами (наприклад, після 1.1 перед 1.2) треба пропускати два рядки.
10. Робота завантажується в форматі *.pdf.

2.7 Критерії оцінювання розрахунково-графічної роботи

Відповідно до робочої програми дисципліни «Розумне освітлення міст та спортивних споруд» максимальна кількість балів за РГР – 15 балів: оцінка за

оформлену відповідно до вимог РГР (максимальна кількість балів – 10) і презентацію та захист РГР (максимальна кількість балів – 5).

Термін виконання і завантаження файлу РГР до дистанційного курсу [11] відповідає оцінюванню третього змістового модуля за дисципліною.

Захист РГР може відбуватися у вигляді тестування в дистанційному курсі за РГР.

Критерії та шкала оцінювання публічного захисту кваліфікаційної роботи подані в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Критерії та шкала оцінювання виконання і оформлення РГР

Шкала оцінювання	Критерії оцінювання
10	Робота оформлена відповідно до вимог, розроблена система освітлення відповідає вимогам сталого розвитку і може бути інтегрована в систему розумного міста, що обґрунтовано і підтверджено розрахунками параметрів системи освітлення
9	Робота оформлена відповідно до вимог, розроблена система освітлення відповідає вимогам сталого розвитку і може бути інтегрована в систему розумного міста, обґрунтування відповідності не повне, але розрахунки параметрів правильні
8	Робота оформлена з незначним порушенням вимог, розроблена система освітлення відповідає вимогам сталого розвитку і може бути інтегрована в систему розумного міста, але обґрунтування відповідності не повне і наявні несуттєві помилки в розрахунках параметрів
7	Робота оформлена з незначним порушенням вимог, розроблена система освітлення не відповідає всім вимогам сталого розвитку або не може бути інтегрована в систему розумного міста, обґрунтування відповідності не повне, наявні несуттєві помилки в розрахунках параметрів
5-6	Робота оформлена з незначним порушенням вимог, розроблена система освітлення не відповідає всім вимогам сталого розвитку або не може бути інтегрована в систему розумного міста, обґрунтування відповідності поверхневе, наявні суттєві помилки в розрахунках параметрів
1-4	Робота не відповідає вимогам оформлення, система освітлення розроблена з суттєвими помилками, не наведено обґрунтування відповідності вимогам сталого розвитку. Кількість балів визначається залежно від кількості помилок

Загальна кількість балів за РГР є сумою кількості балів, отриманих за оформлену і завантажену роботу, та кількості балів, отриманих за захист роботи в усній формі, або виставляється за результатами тестування в дистанційному курсі.

Загальна кількість балів за РГР заноситься до електронної екзаменаційної відомості на порталі erp.kname.edu.ua і враховується в загальній кількості балів, набраних студентами до проведення підсумкового контролю.

Для отримання допуску до складання екзамену за дисципліною необхідно набрати не менше 8-ми балів з 15-ти за РГР в терміни, аналогічні до проведення оцінювання за третім змістовим модулем.

З РЕКОМЕНДАЦІЙ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

3.1 Питання для самостійної роботи з дисципліни

«Розумне освітлення міст та спортивних споруд»

Самостійна робота студентів з дисципліни полягає у виконанні розрахунково-графічної роботи на тему «Проектування освітлювальних установок вулиць і доріг» і більш детальному опрацюванні теоретичного матеріалу курсу за такими темами:

1. Цілі і завдання зовнішнього освітлення.
2. Видимість і розрізнюваність об'єктів на освітлених вулицях.
3. Нормування освітлювальних установок (ОУ) вулиць і доріг.
4. Реалізація цілей сталого розвитку в освітлювальних установках зовнішнього освітлення розумного міста.
5. Характеристики і сфери застосування основних типів джерел світла в зовнішньому освітленні.
6. Світлотехнічні характеристики і класифікація світильників для освітлення вулиць.
7. Вимоги до конструкції світильників для освітлення вулиць.
8. Видимість і розрізнюваність об'єктів в умовах засліплювальної дії світильників.
9. Світлові властивості дорожніх покриттів.
10. Нормативні вимоги до вуличних освітлювальних установок.
11. Засліплювальна дія вуличних освітлювальних установок.
12. Облаштування освітлювальних мереж зовнішнього освітлення.
13. Міські електромережі і мережі вуличного освітлення та їх особливості.
14. Управління дією вуличного освітлення. Загальні відомості.
15. Розрахування середньої освітленості вулиць і доріг.
16. Розрахування середньої яскравості дорожнього покриття.
17. Розрахування яскравості в окремих точках дорожнього покриття.

18. Розрахування показника засліплення вуличних освітлювальних установок.

19. Техніко-економічне обґрунтування вибору варіанта освітлення вулиці.

20. Розрахування величини допустимих втрат напруги в мережах зовнішнього освітлення.

21. Розрахування електричних мереж зовнішнього освітлення за струмом навантаження і вибір апаратів захисту.

22. Розрахування потужності освітлювальних установок, вибір трансформатора і побудова схеми живлення освітлювальних установок вулиці.

23. Розрахування перерізу кабелів і дротів у незв'язаних мережах

24. Розрахування освітлювальних мереж при нерівномірному навантаженні фаз.

25. Розрахування мереж зовнішнього освітлення за втратами напруги.

26. Розрахування перерізів кабелів і дротів у зв'язаних мережах.

27. Розрахування освітлювальних мереж при рівномірному навантаженні фаз.

3.2 Приклади розв'язання завдань

Під час виконання проєкту певної освітлювальної установки вулиці в електротехнічній частині студент має вирішити такі завдання:

1. Визначення допустимих втрат напруги.
2. Визначення перерізу провідників живлячої мережі.
3. Визначення значень робочих струмів на ділянках мережі і вибір апаратів їх захисту.

4. Перевірка апаратів захисту за тривалістю допустимих струмів обраних стандартних перерізів дротів і кабелів.

Далі наведені приклади розв'язання таких завдань.

Визначення допустимих втрат напруги

Величина допустимих втрат напруги в мережі визначається за виразом

$$\Delta U_{\partial} = U_{xx} - U_{\text{лін}} - \Delta U_{\text{тр}}, \quad (3.1)$$

де ΔU_{∂} – допустима втрата напруги в мережі;

U_{xx} – номінальна напруга при холостому ході трансформатора;

$U_{\text{лін}}$ – допустима напруга в найбільш віддалених лампах (у мережах зовнішнього освітлення ця величина повинна становити не нижче 95 % $U_{\text{н}}$, тобто зниження не повинно перевищувати 5 % $U_{\text{н}}$);

$\Delta U_{\text{тр}}$ – втрата напруги в трансформаторі, приведена до вторинної напруги.

Величина $\Delta U_{\text{тр}}$ залежить від потужності трансформатора $P_{\text{тр}}$, його завантаження, коефіцієнта потужності навантаження і визначається з достатнім наближенням за формулою

$$\Delta U_{\text{тр}} = \beta (U_{\text{ам}} \cos \varphi + U_{\text{рм}} \sin \varphi), \quad (3.2)$$

де β – коефіцієнт завантаження трансформатора, що визначається так:

$$\beta = \frac{P_{\text{р}}}{P_{\text{н}}};$$

$U_{\text{ам}}$, $U_{\text{рм}}$, – активна і реактивна складові напруги короткого замикання трансформатора;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності навантаження;

$$U_{\text{ам}} = \frac{P_{\text{к}}}{P_{\text{н}}} \cdot 100\%, \quad (3.3)$$

де $P_{\text{к}}$ – втрати короткого замикання, кВт;

$P_{\text{н}}$ – номінальна потужність трансформатора, кВ·А;

$$U_{pm} = \sqrt{U_k^2 - U_{am}^2}, \quad (3.4)$$

де U_k – напруга короткого замикання у відсотках до номінальної напруги;

P_k і U_k – табличні дані на трансформатор.

Допустимі втрати напруги в освітлювальних мережах для трансформаторів потужністю від 160 кВ·А до 2 500 кВ·А наведені в різних довідниках, але потрібно пам'ятати, що для установок внутрішнього освітлення $U_{лін} = 97,5 \%$, а для зовнішніх освітлювальних установок $U_{лін} = 95 \%$.

Таблиця 3.1 – Значення втрат короткого замикання P_k в трансформаторах

Номінальна потужність трансформатора P_n , кВ·А	25	40	63	100	160	250	400	630
Втрати короткого замикання P_k , кВт	0,6	0,88	1,28	1,97	2,65	3,70	5,50	7,60

Напруга короткого замикання U_k для таких трансформаторів становить 4,5 %.

Приклад розв'язання типової задачі

$P_{уст} = 64$ кВт, $P_n = 100$ кВ·А, $\cos \varphi = 0,5$.

Визначити ΔU_d .

Розв'язання:

1. Визначаємо коефіцієнт завантаження трансформатора β :

$$\beta = \frac{64}{100} = 0,64.$$

2. Для трансформатора потужністю $P_n = 100$ кВ·А знаходимо

$$P_k = 1,97 \text{ кВт}, U_k = 4,5 \%.$$

3. Розраховуємо $U_{ат}$, $U_{рт}$:

$$U_{ам} = \frac{1,97}{100} \cdot 100\% = 1,97\%;$$

$$U_{pm} = \sqrt{4,5^2 - 1,97^2} = 4,04\%.$$

4. Тоді $\Delta U_{mp} = 0,64(1,97 \times 0,5 + 4,04 \times 0,866) = 2,86 \%$.

5. Приймаючи, що $U_{xx} = 105 \%$, знаходимо:

$$\Delta U_o = 105 - 95 - 2,86 = 7,14 \%$$

Допустимі втрати напруги в освітлювальних мережах для трансформаторів потужністю від 160 кВ·А до 2 500 кВ·А наведені в різних довідниках, але потрібно пам'ятати, що для установок внутрішнього освітлення $U_{\text{лін}} = 97,5 \%$, а для зовнішніх освітлювальних установок $U_{\text{лін}} = 95 \%$.

Розрахування моментів і перерізів провідників мережі електропостачання освітлювальних установок вулиці

Величина втрат напруги і перерізу провідника пов'язані такими величинами: ρ – питомий опір провідника Ом·мм²/м, γ – питома провідність і довжина провідника l :

$$\Delta U = \frac{M}{cS}, \quad (3.5)$$

де M – момент навантаження, що дорівнює добутку навантаження P (кВт) на довжину лінії l (м), кВт·м;

S – площа перерізу провідника.

Значення коефіцієнта c визначають за такими формулами:

$$c = \frac{\gamma U_{\text{л}}^2}{10^5} \text{ – для чотирипровідних ліній;}$$

$$c = \frac{\gamma U_{\text{ф}}^2}{2,25 \cdot 10^5} \text{ – для трипровідних ліній;}$$

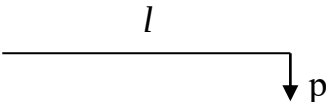
$$c = \frac{\gamma U_{\text{ф}}^2}{2 \cdot 10^5} \text{ – для двопровідних ліній.}$$

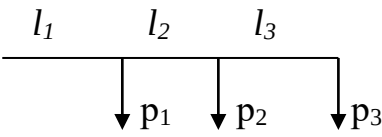
Для електричних мереж, виконаних із мідних і алюмінієвих провідників, значення c наведені в таблиці 3.2.

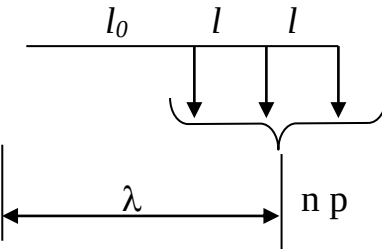
Таблиця 3.2 – Значення c для електричних мереж із мідних і алюмінієвих провідників

Значення c	Мідь	Алюміній
Трифазна з нулем 380/220 В	72	44
Двофазна з нулем 380/220 В	32	19,5
Однофазна	12	7,4

Розрахування моменту навантаження в різних випадках виконується так:

а)  $m = pl$

б) 
$$m = p_1 l_1 + p_2 (l_1 + l_2) + p_3 (l_1 + l_2 + l_3) =$$
$$= (p_1 + p_2 + p_3) l_1 + (p_2 + p_3) l_2 + p_3 l_3$$

в) 
$$m = np \left[l_0 + \frac{l(n-1)}{2} \right] = npl,$$

де λ – приведена довжина до центра навантаження, м.

Порядок розрахування перерізу дротів і кабелів мережі живлення освітлювальної установки вулиці на мінімальні витрати провідникового матеріалу та за втратами напруги передбачає:

1. Розрахування значення втрат напруги в мережі для обраної потужності трансформатора.

2. Розрахування моментів на всіх ділянках мережі.
3. Визначення розрахункового значення перерізу кабелю (дроту) на першій ділянці мережі (від ТП до шафи керування).
4. Вибір ближнього за значенням стандартного перерізу на першій ділянці.
5. Визначення втрат напруги на цій ділянці.
6. Визначення втрат напруги на всіх інших ділянках мережі.
7. Виконати пункти 3–6 на другій і наступній ділянках.

Якщо обраному стандартному значенню перерізу на певній ділянці мережі за довідковими таблицями відповідає значення тривалого допустимого струму, менше ніж струм в обраному апараті захисту, необхідно обрати більше стандартне значення перерізу провідника і перерахувати значення втрат напруги на ділянках мережі й перерізів провідників на наступних ділянках.

$$S = \frac{\Sigma M + \alpha \cdot \Sigma m}{c \cdot \Delta U}, \quad (3.6)$$

де ΣM – сума моментів (кВт·м) усіх навантажень лінії.

Формулу (3.6) послідовно застосовують до всіх ділянок мережі, починаючи від ділянки, найближчої до джерела живлення. За обраним перерізом цієї ділянки визначають втрати напруги в ньому. Подальші ділянки розраховують за різницею між розрахунковою втратою напруги і втратами до початку цієї ділянки. Перерізи проводів, одержані під час розрахування по втраті напруги, округляють до стандартних значень.

Далі наведено розрахунок на найменшу витрату провідникового матеріалу мережі (дод. В).

Визначимо моменти всіх ділянок мережі:

$$M_{AB} = \Sigma P \cdot l,$$

$$M_{AB} = 30,042 \cdot 10 = 330,42 (\text{кВт} \cdot \text{м} / \text{м}^2),$$

$$M_{\varepsilon_1} = (p_1 + p_2) \cdot l_0 + p_1 \cdot \left(l_1 + \frac{D \cdot (n_1 - 1)}{2} \right) + p_2 \cdot \left(l_2 + \frac{D \cdot (n_2 - 1)}{2} \right),$$

$$l_{01} = 1 + 10 + 4 + 3 + 1,5 = 19,5 \text{ м},$$

$$M_{\varepsilon_1} = (2,38 + 2,38) \cdot 19,5 + 2,38 \cdot \left(0 + \frac{17,8 \cdot (28 - 1)}{2} \right) +$$

$$+ 2,38 \cdot \left(17,8 + \frac{17,8 \cdot (28 - 1)}{2} \right) = 1279,02 (\kappa Bm / m)$$

$$M_{\varepsilon_2} = (p_3 + p_5) \cdot l_0 + p_3 \cdot \left(l_3 + \frac{D \cdot (n_3 - 1)}{2} \right) + p_5 \cdot \left(l_5 + \frac{D \cdot (n_5 - 1)}{2} \right),$$

$$M_{\varepsilon_2} = (2,78 + 3,06) \cdot 35 + 2,78 \cdot \left(0 + \frac{23,54 \cdot (10 - 1)}{2} \right) +$$

$$+ 3,06 \cdot \left(23,54 + \frac{23,54 \cdot (11 - 1)}{2} \right) = 931,08 (\kappa Bm / m)$$

$$l_{02} = 19,5 + 1,5 + 12 + 2 = 35 (\text{м}),$$

$$M_{\varepsilon_3} = (p_4 + p_6) \cdot l_0 + p_4 \cdot \left(l_4 + \frac{D \cdot (n_4 - 1)}{2} \right) + p_6 \cdot \left(l_6 + \frac{D \cdot (n_6 - 1)}{2} \right),$$

$$M_{\varepsilon_3} = (3,06 + 2,78) \cdot 35 + 3,06 \cdot \left(0 + \frac{23,54 \cdot (11 - 1)}{2} \right) +$$

$$+ 2,78 \cdot \left(23,54 + \frac{23,54 \cdot (10 - 1)}{2} \right) = 924,49 (\kappa Bm / m)$$

$$M_{\varepsilon_4} = (p_7 + p_8) \cdot l_0 + p_7 \cdot \left(l_7 + \frac{D \cdot (n_7 - 1)}{2} \right) + p_8 \cdot \left(l_8 + \frac{D \cdot (n_8 - 1)}{2} \right),$$

$$l_{04} = 35 + 2 + 12 + 1,5 = 60,5 (\text{м}),$$

$$M_{\varepsilon_4} = (2,38 + 2,38) \cdot 60,5 + 2,38 \cdot \left(0 + \frac{17,8 \cdot (28 - 1)}{2} \right) +$$

$$+ 2,38 \cdot \left(17,8 + \frac{17,8 \cdot (28 - 1)}{2} \right) = 1474,17 (\kappa Bm / m)$$

$$S_{AB} = \frac{330,42 + 1279,02 + 931,08 + 924,49 + 1474,17 + 1,85(423,36 + 14,28)}{72 \cdot 6,746} = 11,84(\text{мм}^2)$$

$$S_{AB} = \frac{330,42 + 1279,02 + 931,08 + 924,49 + 1474,17 + 1,85(423,36 + 14,28)}{44 \cdot 6,746} = 19,37(\text{мм}^2)$$

Знаходимо моменти в опорах:

$$m_{on1} = 0,54 \cdot 14 = 7,56(\text{кВт} \cdot \text{м}),$$

$$m_{on2} = 0,085 \cdot 4 = 0,34(\text{кВт} \cdot \text{м}).$$

Визначаємо переріз головної ділянки за формулою (3.6).

Обираємо плавкий запобіжник ПН2-10 на 40А. Розраховуємо втрати напруги на ділянці АБ:

$$\Delta U_{AB} = \frac{M_{AB}}{c \cdot S_{AB}},$$

$$\Delta U_{AB} = \frac{330,42}{44 \cdot 25} = 0,3\%(Al),$$

$$\Delta U_{AB} = \frac{330,42}{72 \cdot 25} = 0,29\%(Cu).$$

Для подальшого розрахунку обираємо дріт АПВ-25 мм.

Розрахування ділянки Б1:

$$U_{B1} = U_{B2} = U_{B3} = U_{B4} = 6,746 - 0,3 = 6,446\%,$$

$$S_{B1} = \frac{1279,02 + 1,85 \cdot 14,28}{44 \cdot 6,446} = 4,6(\text{мм}^2),$$

$$S_{cm} = 6\text{мм}^2 \text{ АВВГ-1}(4 \times 6),$$

$$\Delta U_{B1} = \frac{1279,02}{44 \cdot 25} = 4,84\%,$$

$$\Delta U_{доопорах} = 6,446 - 4,84 = 1,61\%,$$

$$S_{on2} = \frac{0,34}{7,2 \cdot 1,61} = 0,029(\text{мм}^2),$$

$$S_{cm} = 2,5\text{мм}^2 \text{ АПВ-2,5 мм}^2.$$

Розрахування ділянки Б2:

$$S_{Б2} = \frac{931,08 + 1,85 \cdot 423,36}{44 \cdot 6,446} = 5,9 (\text{мм}^2),$$

$$\Delta U_{Б2} = \frac{931,08}{44 \cdot 6} = 3,53\%,$$

$$S_{ст} = 6 \text{ мм}^2 \text{ АВВГ-1}(4 \times 6).$$

Розрахування ділянки Б3:

$$\Delta U_{\text{допорог}} = 6,446 - 3,53 = 2,916\%,$$

$$S_{он1} = \frac{7,56}{7,2 \cdot 2,916} = 0,36 (\text{мм}^2),$$

$$S_{ст} = 2,5 \text{ мм}^2 \text{ АПВ-2,5 мм}^2.$$

Отримані під час проведення розрахунку перерізи та обрані дроти нанесено на план вулиці (дод. Г).

Вибір перерізу провідників та тросів за механічною міцністю

Найменші допустимі перерізи провідників, які визначаються умовами механічної міцності, вказані в таблиці 12.3 [1].

Для монтування світильників, а також для під'єднання переносних і пересувних електроприймачів повинні застосовуватися тільки мідні гнучкі провідники.

При тросових провідниках залежно від навантаження сталі троси необхідно використовувати з діаметром 1,95–6,5 мм, а катанку – з діаметром 5,5–8,0 мм.

Вибір перерізу провідників за нагріванням

Загальний порядок вибору перерізу дротів і кабелів за умовами нагрівання такий:

1. Визначають розрахункові струми ліній.

2. За величиною розрахункових струмів ліній виконується вибір максимального струмового захисту (струмів роз'єднувачів автоматичних вимикачів або запобіжників).

3. Виконується перевірка обраних апаратів захисту за тривало допустимим струмом.

Нагрівання провідників спричиняється струмом, що визначають за такими формулами:

– у трифазній мережі з нульовим проводом або без нього при рівномірному навантаженні фаз:

$$I = \frac{P_3}{\sqrt{3}U_n \cos \varphi}, \quad (3.7)$$

– у двофазній мережі з нульовим проводом при рівномірному навантаженні фаз:

$$I = \frac{P_2}{2U_\phi \cos \varphi}, \quad (3.8)$$

– у двопровідній мережі:

$$I = \frac{P_1}{U_n \cos \varphi}, \quad (3.9)$$

де P – активна потужність навантаження (з урахуванням втрат у газорозрядних лампах) однієї, двох або трьох фаз;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності навантаження;

U_n, U_ϕ, U_n – напруга мережі, В (лінійна U_n , фазна U_ϕ номінальна U_n).

При рівномірному навантаженні фаз струм у нульовому проводі трифазних мереж, які живлять лампи розжарювання, дорівнює нулю, струм мереж, які живлять газорозрядні лампи, може набувати значення фазного струму.

У двофазних трипроводних мережах при рівномірному навантаженні фаз струм у нульовому проводі дорівнює фазному струму, при живленні ламп

розжарювання він може набувати більшого значення, ніж фазний струм при живленні газорозрядних ламп.

При нерівномірному навантаженні фаз лінійні струми будуть неоднаковими. Однак якщо нерівномірність невелика, вибір перерізу провідників потрібно здійснювати як і для лінії з рівномірним навантаженням фаз, приймаючи як розрахункове потрібне навантаження найбільш навантаженої фази. При суттєвій нерівномірності навантаження необхідно визначати струми й перерізи провідників окремо для кожної фази.

При проектуванні освітлювальних мереж необхідно якомога рівномірніше розподіляти навантаження між фазами.

Вибір перерізу проводів за нагріванням проводиться за розрахованим струмовим навантаженням на провідник I з урахуванням тривало припустимого струму провідника $I_{нрпн}$, значення якого наведені в [7] провідникового матеріалу, кількості жил, матеріалу ізоляції і способу прокладання. Для забезпечення надійної і безпечної роботи електромережі необхідно, щоб виконувалася така умова:

$$I_{нрпн} \geq I. \quad (3.10)$$

Для наведеної в додатку В електромережі за формулою (3.7) визначаємо робочі струми ділянок:

$$I_{AB} = \frac{33,042}{\sqrt{3} \cdot 0,66 \cdot 0,85} = 34,01(A);$$

$$I_{p1,4} = \frac{4,845}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 8,66(A),$$

$$P_{2.ліс} = P_{2.нр} = P_{3.ліс} = (0,25 + 0,028) \cdot 21 = 5,838(кВт),$$

$$I_{p1,4} = \frac{5,838}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 10,44(A).$$

Вибір апаратів захисту

Як апарати захисту освітлювальних мереж застосовуються переважно автоматичні вимикачі, в окремих випадках плавці-запобіжники (в деяких розподільних пунктах). Номінальні струми вставок автоматів і запобіжників потрібно обирати з якомога меншими розрахунковими струмами ділянок мережі і меншими, ніж тривалі допустимі струми кабелів і дротів, з яких виконана мережа.

Таким чином, номінальні струми апаратів захисту повинні задовольняти таку умову:

$$I_p \leq I_{аз} \leq I_{тд}, \quad (3.11)$$

де I_p – робочий струм на ділянці мережі, А;

$I_{аз}$ – номінальний струм апарату захисту, А;

$I_{тд}$ – тривало допустимий струм кабелю або дроту, А.

Перевіримо виконання умови (3.11) для освітлювальної мережі, наведеної в додатку В:

на ділянці Б1 : $I_p = 8,66\text{А}$

$I_{прип} = 60\text{А}$

$I_{пл.вставки} = 16\text{А}$

на ділянці Б2: $I_p = 10,44\text{А}$

$I_{прип} = 60\text{А}$

$I_{пл.вставки} = 16\text{А}$

За отриманими значеннями обираємо запобіжник ПР-2 на 16А та пункт живлення з подвійною системою шин (дод. А).

$I_{доп} = 75\text{А}$ на АПВ-25мм²;

$I_{доп} = 60\text{А}$ на ПВ-16мм².

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5 – 28 – 2018 Природне і штучне освітлення. – Чинний від 2019–01–01. – Київ : Держ. комітет України з будівництва та архітектури, 2018. – 76 с.
2. ДСТУ EN 13201-2:2016 Освітлення доріг. Частина 2. Технічні вимоги. – Чинний від 2024–07–01. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2024. – 22 с.
3. ДСТУ EN 13201-5:2016 Вуличне освітлення. Частина 5. Показники енергетичної ефективності. – Чинний від 2024–07–01. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2024. – 29 с.
4. Philips Lighting [Електрон. ресурс] : сайт. – Електрон. текст. дані. – Оновлюється постійно. – Режим доступу: <https://www.lighting.philips.com/>, вільний (дата звернення: 23.05.2025). – Назва з титул. екрана.
5. Schröder [Електрон. ресурс] : сайт. – Електрон. текст. дані. – Оновлюється постійно. – Режим доступу: <https://ua.schreder.com/uk>, вільний (дата звернення: 23.05.2025). – Назва з титул. екрана.
6. CIE Research Strategy 2023 [Electronic resource]. – Electronic text data. – Regime of access: <https://cie.co.at/research-strategy>, free (date of the application: 23.05.2025). – Header from the screen.
7. Liashenko O. Design of Lighting Installation in Conditions of Circular Economy // O. Liashenko // Інноваційні технології в світлотехніці та електроенергетиці : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., Харків, 16–17 трав. 2024 р. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – С. 33.
8. Measures to Improve the Energy Efficiency of Street Lighting Systems in the Kharkiv City / O. Didenko, K. Suvorova, O. Liashenko, M. Sukhonos, M. Liubchenko // Lighting Engineering & Power Engineering. – Vol. 60(2). – P. 39–46.
9. Liashenko O. Smart traffic light system for increasing the pedestrian safety / O. Liashenko, O. Didenko // Ukrainian Metrological Journal. – Kharkiv : National Scientific Centre «Institute of Metrology». – No 2. – 2025. – P. 24–30.

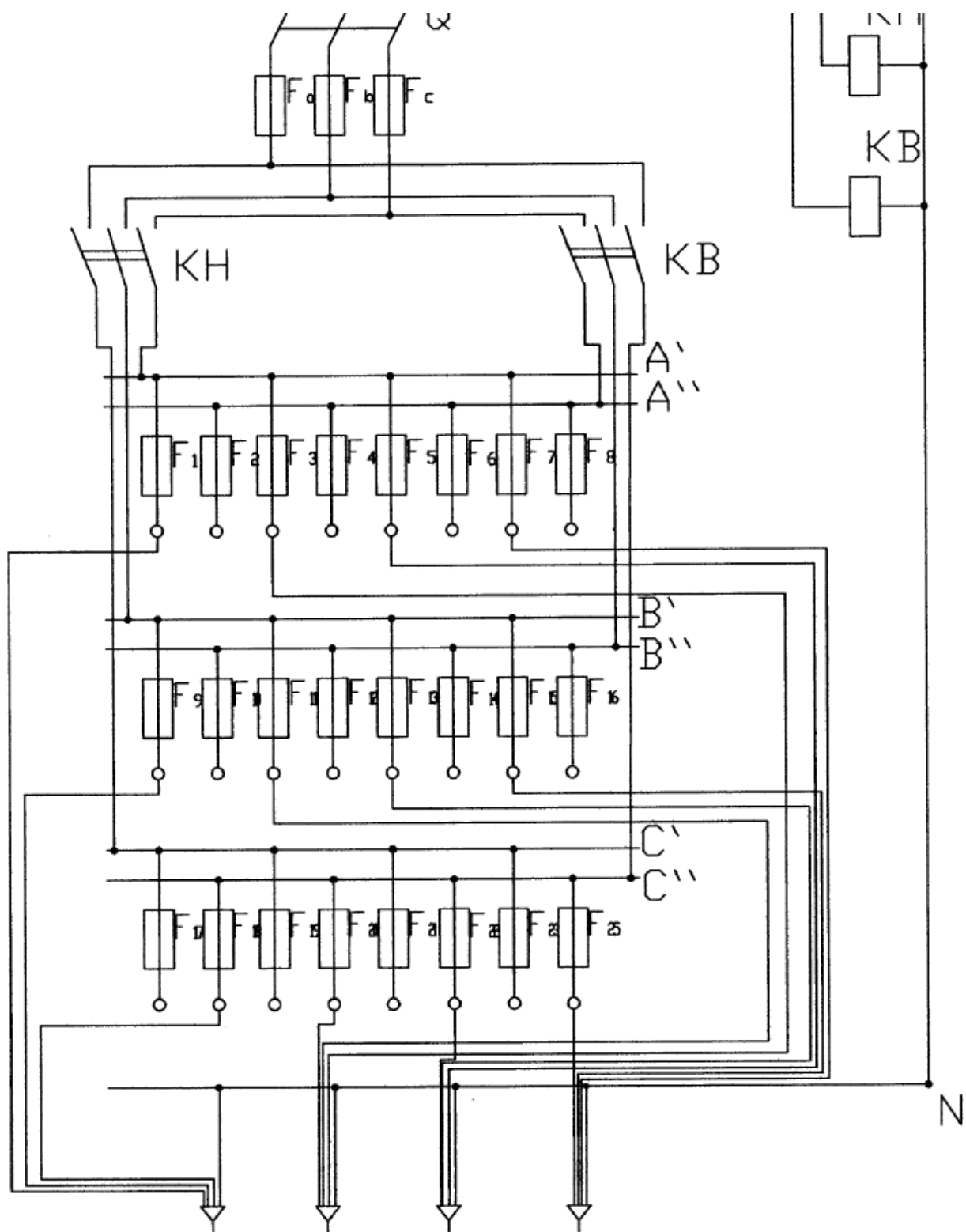
10. DIALux evo [Електрон. ресурс] : сайт. – Електрон. текст. дані. – Оновлюється постійно. – Режим доступу: <https://www.dialux.com/>, вільний (дата звернення: 23.05.2025). – Назва з титул. екрана.

11. Дистанційний курс «Розумне освітлення міст та спортивних споруд» [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://dl.kname.edu.ua/course/view.php?id=447>, вільний (дата звернення: 23.05.2025). – Назва з титул. екрана.

12. Комп'ютерне проектування освітлення спортивних споруд : навч. посіб. / Л. А. Назаренко, В. О. Салтиков, Ю. О. Васильєва, О. М. Ляшенко ; Харків. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2013. – 217 с.

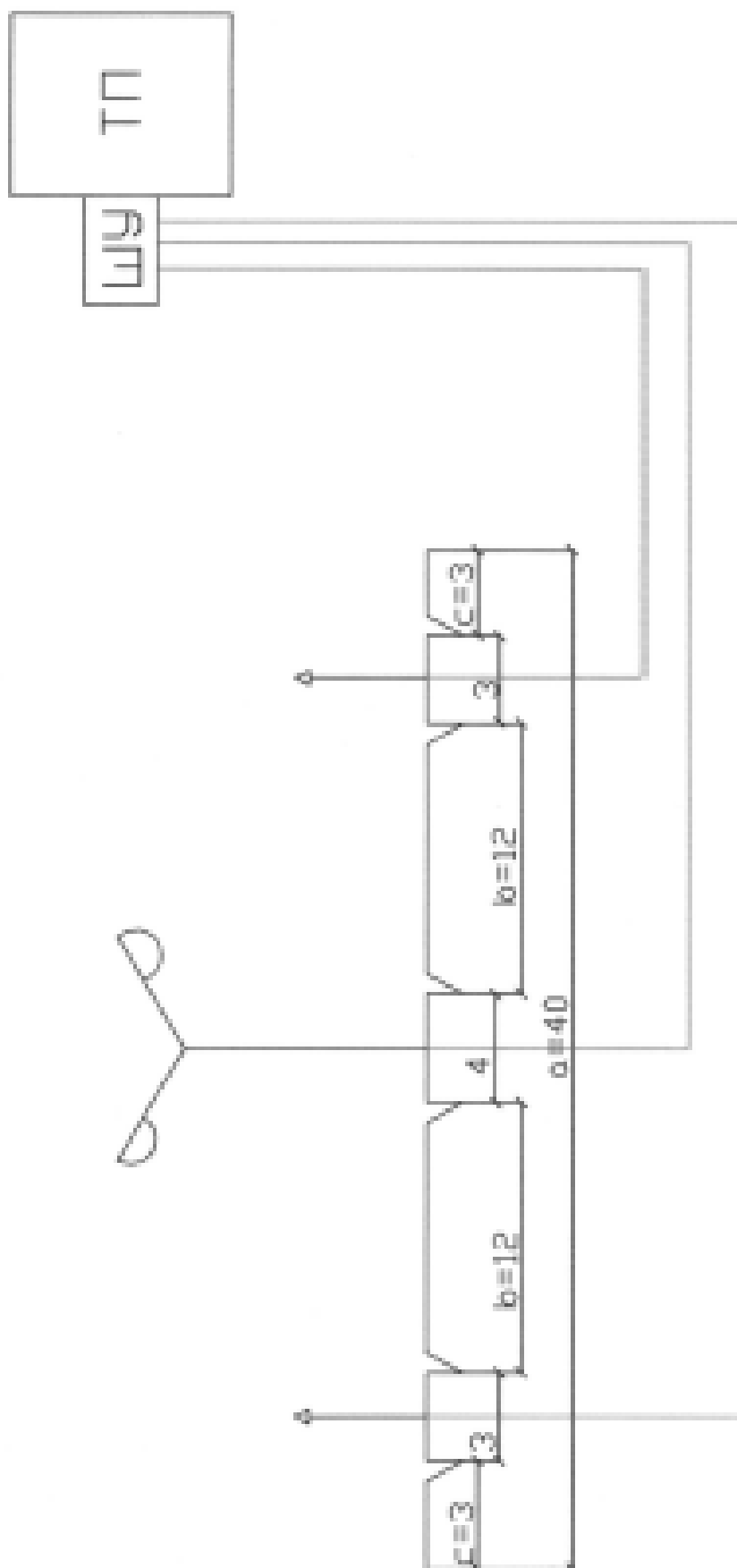
ДОДАТОК А

Шафа керування вуличним освітленням



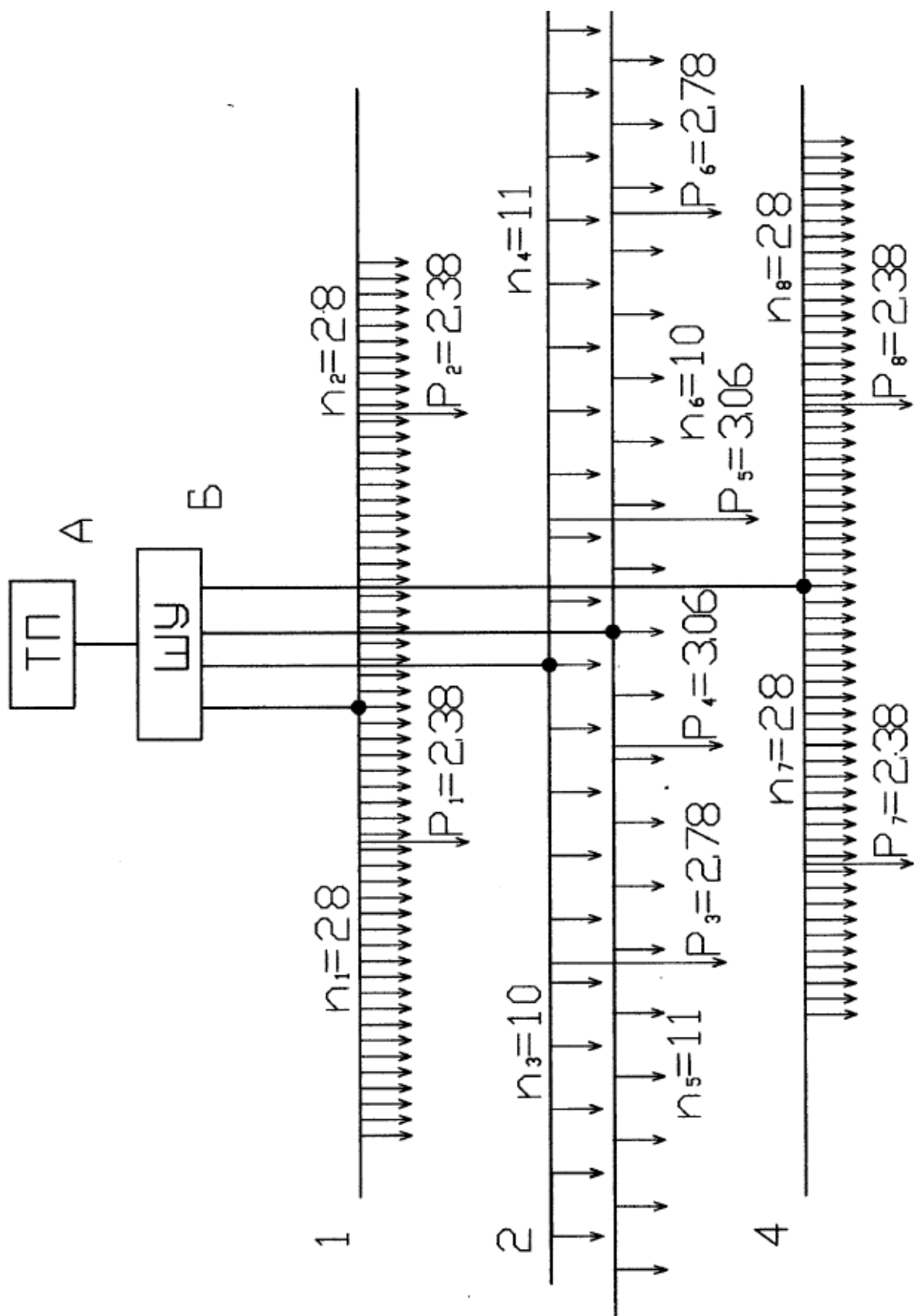
ДОДАТОК Б

До визначення моментів навантаження



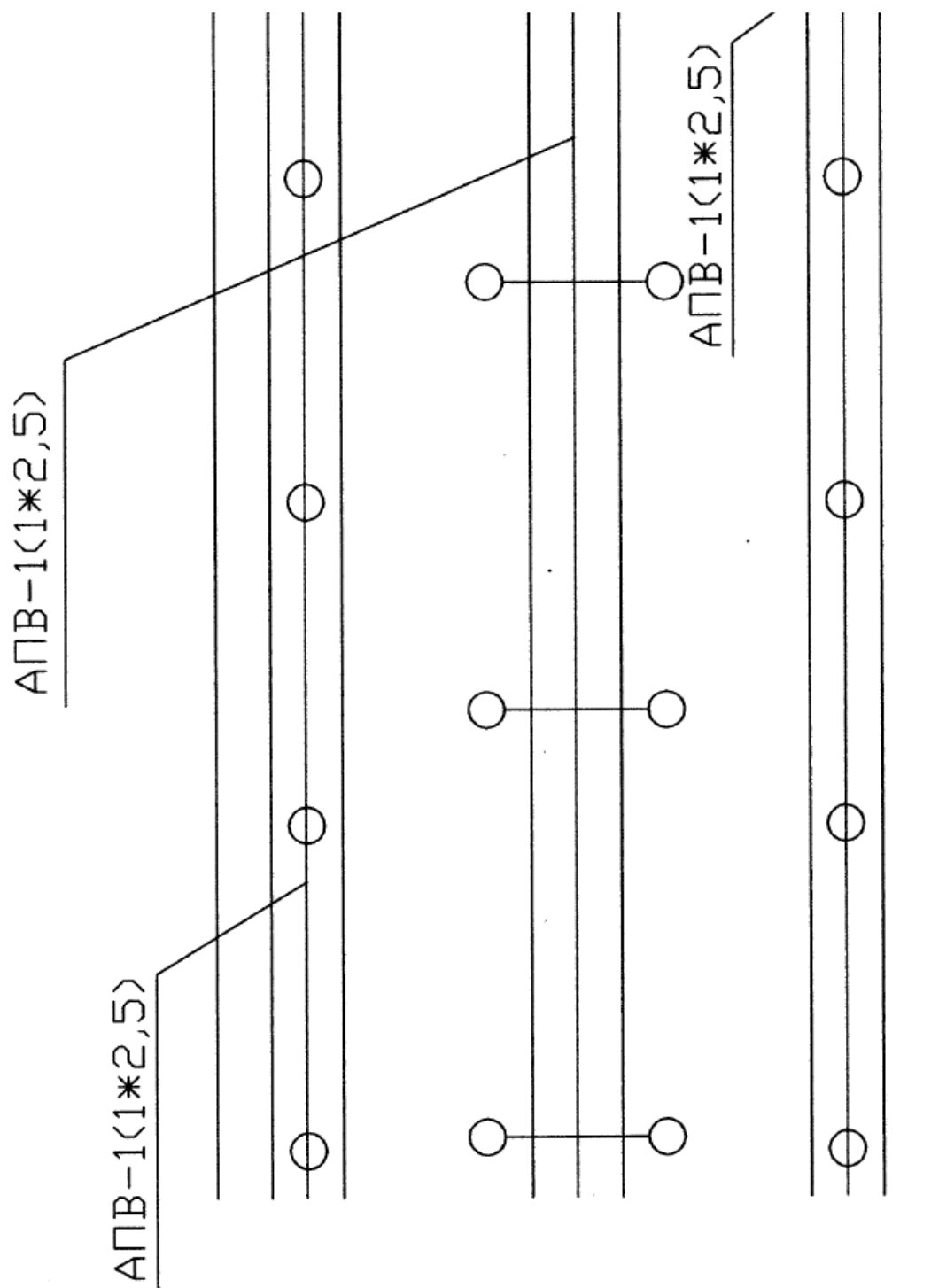
ДОДАТОК В

Приклад розподілу навантаження



ДОДАТОК Г

Відомості про перерізи провідників мережі



Електронне навчальне видання

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до проведення практичних занять,
виконання розрахунково-графічної та самостійної робіт
із навчальної дисципліни

«РОЗУМНЕ ОСВІТЛЕННЯ МІСТ ТА СПОРТИВНИХ СПОРУД»

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
всіх форм навчання зі спеціальності G3 – Електрична інженерія)*

Укладачі: **ЛЯШЕНКО** Олена Миколаївна,
ДІДЕНКО Олена Михайлівна

Відповідальний за випуск *В. А. Герасименко*
Редактор *О. А. Норик*
Комп'ютерне верстання *О. М. Ляшенко, І. В. Волосожарова*

План 2025, поз. 292М

Підп. до друку 19.01.2026. Формат 64 × 84/16.
Ум. друк. арк. 3,8.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Чорноглазівська, 17, Харків, 61002
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК 8386 від 14.07.2025.