

**П. Г. ПЛЄШКОВ, А. Ю. ОРЛОВИЧ, С. В. СЕРЕБРЕННІКОВ,
А. П. БЕГУН, А. О. РІЗУНЕНКО, Н. Ю. ГАРАСЬОВА, В. В. ЗІНЗУРА**



**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ
СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ
ДЛЯ ПРОМИСЛОВИХ
ТА КОМУНАЛЬНО-ПОБУТОВИХ
СПОЖИВАЧІВ**

КРОПИВНИЦЬКИЙ . 2018

**П. Г. Плєшков, А. Ю. Орлович, С. В. Серебренніков,
А. П. Бегун, А. О. Рїзуненко, Н. Ю. Гарасьова,
В. В. Зїнзура**

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ СИСТЕМИ
ОСВІТЛЕННЯ ДЛЯ ПРОМИСЛОВИХ
ТА КОМУНАЛЬНО-ПОБУТОВИХ
СПОЖИВАЧІВ**

Кропивницький
2018

УДК 621.32
П-40

Гриф надано Вченою радою
Центральноукраїнського
національного технічного університету
(протокол № 6 від 26. 02. 2018 р.)

Колектив авторів:

Плешков П. Г., Орлович А. Ю., Серебренніков С. В., Бегун А. П.,
Різуненко А. О., Гарасьова Н. Ю., Зінзура В. В.

Рецензенти:

Сінчук О.М., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
«Автоматизовані електромеханічні системи в промисловості та транспорті»
Криворізького національного університету, академік АГН України;

Осадчий С.І. доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
«Автоматизація виробничих процесів» Центральноукраїнського національного
технічного університету.

П-40 Енергоефективні системи освітлення для промислових та
комунально-побутових споживачів / [Плешков П. Г., Орлович А. Ю.,
Серебренніков С. В., Бегун А. П., Різуненко А. О., Гарасьова Н. Ю.,
Зінзура В. В.] ; під редакцією Заслуженого працівника освіти України,
кандидата технічних наук, професора Плешкова П. Г. – М-во освіти і
науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький :
ЦНТУ, 2018. – 246 с.
ISBN 978-966-402-076-0

Розглянуто теоретичні аспекти роботи як традиційних освітлювальних
приладів, так і сучасних світлодіодних освітлювальних установок. Розкриті
питання світлотехнічного розрахунку систем освітлення, їх електротехнічного
розрахунку, описані методи підвищення енергоефективності роботи
освітлювальних установок та мереж. Приведено методіку розрахунку економії
електроенергії в діючих освітлювальних установках приміщень при проведенні
енергетичного аудиту

Для студентів, магістрантів та аспірантів електроенергетичних
спеціальностей вищих навчальних закладів, а також інженерно-технічних
працівників, які займаються проектуванням та експлуатацією систем освітлення.

ISBN 978-966-402-076-0

УДК 621.32
ББК 31.294.9
© Колектив авторів, 2018

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	7
Розділ 1. ОСНОВНІ ВИЗНАЧЕННЯ ТА СВІЛОТЕХНІЧНІ ВЕЛИЧИНИ	10
Розділ 2. ЛАМПИ РОЗЖАРЮВАННЯ	19
2.1. Конструкція ламп розжарювання	19
2.2. Принцип дії ламп розжарювання	20
2.3. Характеристики ламп розжарювання	22
2.4. Переваги і недоліки ламп розжарювання	24
2.5. Маркування ламп розжарювання	25
2.6. Галогенні лампи	25
Розділ 3. ГАЗОРОЗРЯДНІ ДЖЕРЕЛА СВІТЛА	27
3.1. Люмінесцентні лампи	27
3.1.1. Конструкція люмінесцентних ламп	28
3.1.2. Ввімкнення люмінесцентних ламп в мережу	29
3.1.3. Живлення люмінесцентних ламп на високій частоті	33
3.1.4. Характеристики люмінесцентних ламп	34
3.1.5. Переваги і недоліки люмінесцентних ламп	35
3.1.6. Маркування люмінесцентних ламп	35
3.1.7. Компактні люмінесцентні лампи	36
3.2. Розрядні лампи високого тиску	40
3.2.1. Ртутні лампи високого тиску	40
3.2.2. Металогалогенні лампи	42
3.2.3. Натрієві лампи	44
3.2.4. Ксенонові лампи	45
3.2.5. Пускорегулюючі апарати для ламп високого тиску	46
Розділ 4. НАПІВПРОВІДНИКОВІ ДЖЕРЕЛА СВІТЛА	47
4.1. Принцип роботи напівпровідникових джерел світла	47
4.2. Порівняння напівпровідникових ламп з традиційними джерелами світла	55
4.3. RGB світлодіоди	57
4.4. Колориметричні (спектральні) характеристики світлодіодів	59
4.5. Люмінофорні світлодіоди	61
4.5.1. Конструкція люмінофорних світлодіодів	61

4.5.2. Спектр випромінювання люмінофорного світлодіоду.....	63
4.5.3. Яскравість і якість світла люмінофорного світлодіоду.....	64
4.5.4. Переваги і недоліки люмінофорних світлодіодів.....	65
4.6. Світлодіодні лампи на філаментах.....	66
4.7. Вимоги до колірної температури.....	69
4.8. Види цоколів світлодіодних ламп.....	71
4.9. Особливості використання світлодіодного освітлення у навчальних закладах.....	73
Розділ 5. СВІТИЛЬНИКИ.....	77
5.1. Основні види світильників.....	77
5.2. Порівняння світлотехнічних характеристик світлодіодних світильників для модернізації вуличного освітлення.....	83
5.2.1. Загальна характеристика досліджуваних світильників «СЭС 3-45Л6» та «AMPERA Mini».....	83
5.2.2. Дослідження температурних режимів світильників.....	86
5.2.3. Дослідження електричних параметрів світильників.....	88
5.2.4. Дослідження світлотехнічних характеристик світильників.....	91
Розділ 6. СИСТЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ.....	96
6.1. Системи освітлення.....	96
6.2. Види освітлення.....	97
6.3. Рекомендації щодо вибору джерел світла.....	98
6.4. Вибір рівня освітленості і коефіцієнту запасу.....	100
6.5. Розміщення світильників.....	102
Розділ 7. КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК.....	108
7.1. Особливості та призначення програмного комплексу DIALux.....	108
7.2. Основні можливості програми DIALux.....	109
7.3. Інтерфейс користувача DIALux.....	110
7.4. Порядок роботи над проектом в програмному комплексі DIALux.....	114
7.5. Методика виконання окремих етапів роботи над проектом DIALux.....	115
7.6. Побудова сцен штучного освітлення в DIALux.....	125

7.6.1. Сцени освітлення з елементами керування	126
7.6.2. Етапи побудови сцен освітлення з елементами керування в DIALux.....	129
7.6.3. Приклад розрахунку сцени основного освітлення	132
7.7. Побудова сцен освітлення в DIALux із урахуванням природного світла.....	134
7.7.1. Розрахунок освітлення з урахуванням природного світла	135
7.7.2. Візуалізація сонячного світла і тіні.....	137
7.8. Отримання результатів розрахунків в DIALux.....	139
7.9. Енергетична оцінка проекту освітлення	140
7.10. Розрахунок вуличного освітлення	143
Розділ 8. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ	149
8.1. Джерела живлення та номінальна напруга освітлювальних мереж.....	149
8.2. Вибір схем електричних освітлювальних мереж	151
8.3. Електротехнічний розрахунок освітлювальних мереж	154
Розділ 9. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНИМИ УСТАНОВКАМИ	170
9.1. Основні вимоги до систем керування освітлювальними установками.....	170
9.2. Системи автоматичного керування світлового потоку освітлювальних установок промислових та адміністративно-побутових приміщень.....	173
9.3. Стабілізатори та обмежувачі напруги для освітлювальних мереж.....	187
9.4. Вибір уставок вихідної напруги стабілізаторів і обмежувачів напруги в освітлювальних мережах	192
9.5. Розміщення і особливості проектування засобів регулювання напруги в освітлювальних мережах	195
Розділ 10. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ В ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВКАХ ТА МЕРЕЖАХ	198
10.1. Заощадження електричної енергії в освітлювальних установках.....	198
10.2. Енергозаощаджуючі рішення на стадії проектування освітлення промислових підприємств	198

10.3. Економія електроенергії при експлуатації освітлювальних приладів.....	206
10.4. Методика розрахунку економії електроенергії в діючих освітлювальних установках за результатами енергетичного аудиту.....	212
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ....	221
ДОДАТКИ.....	223
ДОДАТОК А. Технічні характеристики енергозберігаючих світлодіодних світильників	223
ДОДАТОК Б. Довідкова інформація для проведення світлотехнічних та електротехнічних розрахунків систем освітлення.....	231

ПЕРЕДМОВА

*І сказав Бог: "Нехай буде світло!" І настало світло
[Книга "Буття", р.1, в.3].*

Оскільки тривалість світлового дня становить в середньому близько 10 годин, то людина була вимушена навчитися добувати штучне світло для подовження робочого дня. Від часів, коли джерелом світла був відкритий вогонь – свічки, факели тощо, – відбулося принаймні три світлотехнічні революції:

1 – розроблення Едісоном лампи розжарювання, що живиться електрострумом;

2 – розроблення газорозрядних люмінесцентних ламп «денного» світла;

3 – впровадження світлодіодних ламп.

Кожне з перелічених джерел світла має свої переваги та недоліки і відповідні особливості застосування. Тому у навчальному посібнику розглянуто всі сучасні види джерел світла (розділи 1-6) для освітлення виробничих, адміністративно-побутових, громадських, житлових та інших приміщень, а також територій підприємств і вуличного освітлення.

За принципом перетворення електричної енергії в енергію видимих випромінювань джерела світла класифікують на три основні групи (рис. 1).

Розділ 7 присвячений комп'ютерному моделюванню освітлювальних установок при розробці світлотехнічного проекту. Треба відмітити можливості описаного у посібнику програмного комплексу DIALux щодо способів візуалізації об'єкту, варіативності рішень при виборі і установці світильників, обробки світлотехнічних даних, побудови освітлення з елементами керування. Ця комп'ютерна програма дозволяє враховувати комплекс параметрів – геометрію приміщень, колір і текстуру поверхонь, світловий потік, що падає на робочу поверхню від джерела світла, світловий потік, що заломлюється і відбивається від стін, стелі, меблів тощо. DIALux дозволяє контролювати показники якості освітлення: горизонтальну освітленість поверхні,

насиченість приміщення світлом, рівномірність освітлення, енергоефективність проекту.



Рис. 1. Класифікація джерел світла

У розділах 8, 9, присвячених проектуванню освітлювальної електричної мережі та систем керування освітлювальними установками, розглянуті питання вибору напруги і джерела живлення освітлювальної установки, обґрунтування схеми живлення, марки та перерізу провідників, способів їх прокладання тощо. На стадії проектування освітлення розглядають питання нормування освітленості, вибору найефективніших джерел світла, раціонального розміщення освітлювальних приладів, спрямування світлового випромінювання, керування роботою освітлювальних приладів.

В економічно розвинених країнах на потреби освітлення витрачають близько 10-20% від всієї електроенергії, натомість в Україні, через низьку ефективність джерел світла, питомі витрати електроенергії на виробництво світла в 1,5 рази вищі, ніж у

країнах ЄС. Питання заощадження електричної енергії в освітлювальних установках та мережах висвітлено у розділі 10.

Рівень **ефективності** використання електричної енергії визначають за відношенням результатів використання енергії до витрат енергії на отримання цих результатів. Показниками рівня ефективності можуть бути: **енерговіддача** – прямий показник та **енергоємність** – зворотний показник ефективності.

Навчальний посібник орієнтовано на студентів, магістрантів та аспірантів електроенергетичних спеціальностей, також він буде корисним для підвищення рівня кваліфікації інженерно-технічних працівників, які займаються проектуванням та експлуатацією систем освітлення.

У процесі підготовки навчального посібника використовувався досвід викладачів кафедри «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент» Центральноукраїнського національного технічного університету із викладання дисциплін «Основи електропостачання», «Проектування електричного освітлення промислових підприємств», «Світлотехнічні установки промислових підприємств» та конструкторський досвід провідних фахівців ПАТ «НВП «Радій» у створенні сучасних світлодіодних освітлювальних установок.

РОЗДІЛ 1

ОСНОВНІ ВИЗНАЧЕННЯ ТА
СВІТЛОТЕХНІЧНІ ВЕЛИЧИНИ

Випромінювання (радіація) є однією з форм існування матерії у вигляді електромагнітного поля. Всі тіла, що мають температуру вище абсолютного нуля, випромінюють в навколишній простір променеву енергію. Променева енергія має одночасно електромагнітну і квантову природу, переноситься ця енергія квантами (фотонами).

Основною характеристикою випромінювання є довжина хвилі:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}, \quad (1.1)$$

де c – швидкість світла (у вакуумі $c \approx 300\,000\,000$ м/с);

ν – частота електромагнітних коливань, Гц.

За довжиною хвилі розрізняють випромінювання виду: радіохвилі; інфрачервоне; видиме; ультрафіолетове; рентгенівське; γ -випромінювання.

Область електромагнітних випромінювань з довжиною хвилі від 10^{-9} до 10^{-3} м називають оптичним випромінюванням.

Оптичну область спектру поділяють на ультрафіолетову, видиму та інфрачервону.

Ультрафіолетове випромінювання – оптичне випромінювання, довжина хвиль якого перебуває в межах від 1 до 380 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9}$ м).

Інфрачервоне випромінювання – це оптичне випромінювання, довжина хвиль якого перебуває в межах від 760 нм до 1 мм.

Видиме випромінювання (**світло**) – це випромінювання, яке потрапляючи на сітківку ока людини може викликати зорове відчуття. Видиме випромінювання має довжини хвиль в межах 380...760 нм (рис. 1.1).

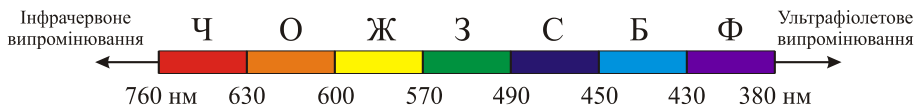


Рис. 1.1. Видима частина спектру

Видима частина спектру складається із наступних кольорових смуг:

- червоний – 760...630 нм;
- оранжевий – 630...600 нм;
- жовтий – 600...570 нм;
- зелений – 570...490 нм;
- синій – 490...450 нм;
- блакитний – 450...430 нм;
- фіолетовий – 430...380 нм.

Тіла випромінюють світло, що складається із хвиль різної довжини. Енергія видимих випромінювань впливає на світлочутливі елементи ока і викликає світлове відчуття, інтенсивність якого залежить від потужності випромінювання і довжини хвилі. Це пояснюється різною чутливістю ока до випромінювань з різними довжинами хвиль. При однаковій потужності випромінювань кожної з довжин хвиль найбільше світлове відчуття виникає при випромінюванні жовто-зеленого кольору з довжиною хвилі 555 нм. Синє випромінювання тієї ж потужності сприймається приблизно в 20 разів слабше, а червоне – у 50 разів.

Освітлення характеризують кількісними та якісними показниками.

До **кількісних** показників належить: світловий потік, сила світла, освітленість, яскравість, коефіцієнт відбиття.

До **якісних** належить: тло, контраст об'єкту, видимість, показник засліпленості, коефіцієнт пульсації освітленості.

Основною величиною, що характеризує штучне освітлення, є світловий потік.

Світловий потік (Φ) – потужність світлового випромінювання (видимого випромінювання), яку оцінюють за світловим відчуттям, що сприймає око людини.

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}. \quad (1.2)$$

Одиниця вимірювання світлового потоку – люмен (лм). 1 лм дорівнює світловому потоку, що випромінює абсолютно чорне тіло з площі $0,5305 \text{ мм}^2$ за температури твердіння платини (1773°C).

Сила світла точкового джерела – це просторова щільність світлового потоку:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}, \quad (1.3)$$

де ω – тілесний кут у стерadiansах.

Тілесний кут ω – це частина простору, обмежена конічною поверхнею (рис. 1.2).

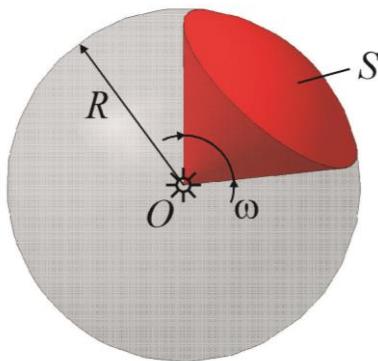


Рис. 1.2. Тілесний кут ω

Величину тілесного кута визначають як відношення площі сферичної поверхні S , на яку він спирається, до квадрату радіуса сфери R (див. рис. 1.2).

$$\omega = \frac{S}{R^2}. \quad (1.4)$$

Одиниця виміру тілесного кута – стерadian (ср). Величина тілесного кута в 1 ср – це тілесний кут, який вирізає на поверхні сфери площу S , рівну квадрату радіусу даної сфери.

При рівномірному розподіленні світлового потоку в межах тілесного кута, що має кінцеві розміри, сила світла в напрямку вісі кута визначають за формулою:

$$I = \frac{\Phi}{\omega}, \quad (1.5)$$

Одиниця виміру сили світла – кандела (кд). 1 кд – це сила світла, що випромінюється в перпендикулярному напрямку з площини в $1/600\,000 \text{ м}^2$ абсолютно чорного тіла за температури затвердіння платини $T = 2015 \text{ К}$ і тиску $P = 101\,325 \text{ Па}$.

Тоді світловий потік в 1 лм відповідає світловому потоку, що випромінюється в одиничному тілесному куті точковим джерелом світла в 1 кд.

Освітленість. Світловий потік, потрапляючи на довільну поверхню, освітлює її. Для кількісної оцінки щільності світлового потоку на освітленій поверхні використовують поняття освітленості.

Освітленість (E) – це відношення світлового потоку до площі поверхні, що ним освітлюється:

$$E = \frac{\Phi}{S}. \quad (1.6)$$

Одиниця виміру освітленості – люкс (лк). Освітленість в 1 лк має поверхня площею в 1 м^2 на яку потрапляє і рівномірно по ній розподіляється світловий потік в 1 лм.

Яскравість. Світловий потік від джерела світла, падаючи на поверхню якого-небудь предмета, частково нею відбивається. До ока спостерігача потрапляє лише частина відбитого світлового

потоків від поверхні предмету, що викликає зорове сприйняття. Чим більше відбитого світлового потоку від поверхні предмету потрапляє до ока спостерігача, тим сильніше зорове відчуття цього предмету. Освітлений предмет буде краще видно тоді, коли його поверхня буде відбивати більше світлового потоку в напрямку ока спостерігача. Умови бачення кількісно характеризують величиною яскравості.

Яскравістю (L) освітленої поверхні в довільному напрямку, називають відношення сили світла, що випромінюється поверхнею в даному напрямку, до площі проекції освітленої поверхні на площину, перпендикулярну тому ж напрямку (рис. 1.3).

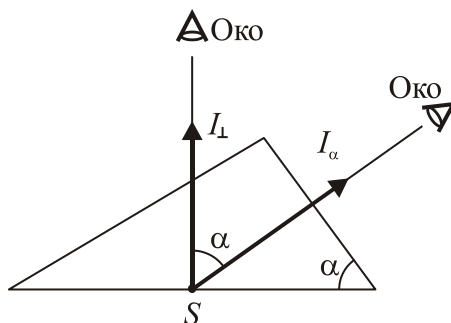


Рис. 1.3. Ілюстрація до визначення яскравості поверхні

Якщо промені від площини поверхні, що освітлюється, направлені до ока людини, перпендикулярні цій поверхні, то яскравість освітленої поверхні

$$L = \frac{I}{S}, \quad (1.7)$$

де L – яскравість, кд/м²;

I – сила світла, перпендикулярна освітленій поверхні, кд;

S – площа поверхні, м².

Поняття яскравості застосовують не лише до освітлених поверхонь, але і до джерел світла.

Одиниця яскравості – кандела на квадратний метр (кд/м²).

Джерело світла, що має форму кулі діаметром D і випромінює рівномірно в усі сторони силу світла, має яскравість

$$L = \frac{I}{S_{\text{кулі}}}. \quad (1.8)$$

Світлові властивості тіл. Світловий потік Φ , падаючи на тіло частково відбивається від його поверхні, частково заломлюється (проходить крізь тіло), частково ним поглинається. Згідно закону збереження енергії:

$$\Phi = \Phi_{\rho} + \Phi_{\alpha} + \Phi_{\tau}, \quad (1.9)$$

де Φ_{ρ} – відбита частина світлового потоку;

Φ_{α} – частина світлового потоку, що поглинається;

Φ_{τ} – частина світлового потоку, що пропускається тілом (проходить крізь тіло).

Відношення кожної із складових світлового потоку до світлового потоку, що падає на поверхню, називають коефіцієнтами відбиття ρ , поглинання α та пропускання τ :

$$\rho = \Phi_{\rho}/\Phi; \quad \alpha = \Phi_{\alpha}/\Phi; \quad \tau = \Phi_{\tau}/\Phi.$$

Вочевидь, що згідно з (1.9)

$$\rho + \alpha + \tau = 1. \quad (1.10)$$

Розрізняють три види відбиття і пропускання світла тілами (рис. 1.4):

- направлене;
- розсіяне (дифузне);
- направлено-розсіяне

Тіла з гладкою поверхнею, що має блиск, володіють направленим або дзеркальним відбиттям (дзеркало, полірована поверхня).

	Відбиття	Пропускання
Направлене		
Розсіяне		
Направлено-розсіяне		

Рис. 1.4. Різновиди відбиття і пропускання світлового потоку

Прозорі тіла володіють направленим пропусканням (скло).

Тіла, які відбивають або пропускають світло, розсіюючи його настільки, що їх яскравість стає однаковою по всіх напрямках простору, володіють відповідно дифузним відбиттям (крейда, гіпс, вапно) або дифузним пропусканням (матове скло).

Тло (фон) – це поверхня, що прилягає до об’єкту розрізнення, на якій його розглядають.

Тло характеризують коефіцієнтом відбиття, що залежить від кольору і фактури поверхні, значення якого знаходяться в межах 0,02...0,95. Тло вважають світлим при коефіцієнті відбиття поверхні більшим за 0,4; середнім – 0,2...0,4; темним – меншим за 0,2.

Контраст об’єкту – це відношення абсолютної величини різниці між яскравістю об’єкту L_o і тла L_ϕ до яскравості тла:

$$K = \frac{|L_o - L_\phi|}{L_\phi}. \quad (1.11)$$

Контраст об'єкту вважають великим у разі $K > 0,5$ (об'єкт і тло сильно відрізняються за яскравістю), середнім – при $0,2 < K < 0,5$ (об'єкт і тло помітно відрізняються за яскравістю), малим – при $K < 0,2$ (об'єкт і тло мало відрізняються за яскравістю).

Залежно від співвідношення характеристик тла і контрасту об'єкту з тлом розряди зорової роботи розподіляють на підрозряди.

Видимість – універсальна характеристика якості освітлення, яка характеризує здатність ока сприймати об'єкт. Видимість залежить від освітленості, розміру об'єкту, його яскравості, контрасту об'єкту з тлом, тривалості експозиції.

Видимість (V) визначають за кількістю порогових контрастів $K_{i\delta}$ в контрасті об'єкта з тлом K :

$$V = \frac{K}{K_{\text{пор}}}, \quad (1.12)$$

де $K_{\text{пор}}$ – найменший контраст, що розрізняє око, при невеликому зменшенні якого об'єкт вже неможливо розрізнити.

Показник засліпленості – критерій оцінки засліплюючої дії освітлювальної установки:

$$P = (S - 1) 1000, \quad (1.13)$$

де S – коефіцієнт засліпленості, що дорівнює відношенню видимості об'єкту відповідно при екрануванні і при наявності в полі зору джерел, що блищать.

Коефіцієнт пульсації освітленості – критерій оцінки відносної глибини коливань освітленості в результаті зміни з часом світлового потоку газорозрядних ламп при живленні їх змінним струмом:

$$K_{\Pi} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2E_{\text{cp}}} \cdot 100\% , \quad (1.14)$$

де E_{\max} , E_{\min} – відповідно максимальне і мінімальне значення освітленості за період її коливання, лк;

E_{cp} – середнє значення освітленості за цей же період, лк.

Із усього різноманіття джерел світла розглянемо джерела, які застосовують для освітлення виробничих, адміністративно-побутових, громадських, житлових та інших приміщень, а також для освітлення територій підприємств і вуличного освітлення.

РОЗДІЛ 2

ЛАМПИ РОЗЖАРЮВАННЯ

2.1. Конструкція ламп розжарювання

Тепловим називають оптичне випромінювання, що виникає при нагріванні тіл. До теплових джерел світла належать лампи розжарювання. Залежно від того, яким середовищем заповнюють колбу лампи при виготовленні, їх поділяють на вакуумні, газонаповнені, галогенні, ксенонові.

Лампи розжарювання є типовими тепловипромінювачами. Конструкцію лампи розжарювання загального призначення наведено на рис. 2.2.

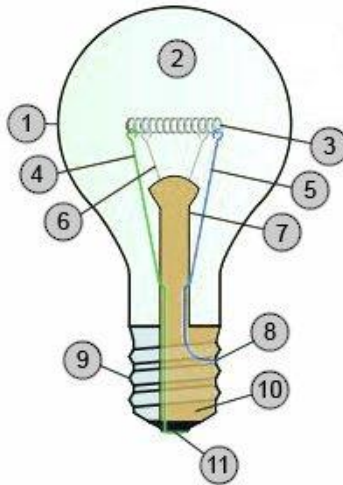


Рис. 2.2. Конструкція лампи розжарювання загального призначення:

- 1 – скляна колба; 2 – заповнена газом (або вакуумом) порожнина колби;
3 – спіраль розжарювання; 4, 5 – електроди; 6 – додаткові опори спіралі;
7 – скляна ніжка; 8 – зовнішній струмопровід; 9 – цоколь; 10 – ізолятор цоколя;
11 – нижній контакт цоколя.

Найважливіші властивості лампи розжарювання – світлова віддача та термін служби – визначаються температурою спіралі. При підвищенні температури спіралі збільшується яскравість, але скорочується термін служби. Скорочення терміну служби є наслідком того, що випаровування матеріалу (вольфраму), з якого зроблена спіраль, при високих температурах відбувається швидше. Внаслідок чого колба темнішає, а спіраль стає все тоншою, і в певний момент розплавляється, після чого лампа виходить з ладу. Світловіддача ламп розжарювання складає приблизно 9 - 19 лм/Вт.

Спектр випромінювання лампи розжарювання – близький до сонячного, неперервний (суцільний), що забезпечує ідеальну передачу кольору і є найприйнятнішим для людського ока. Запалювання лампи відбувається миттєво.

Спіраль виготовляють із вольфрамового дроту. Вольфрам має порівняно високу температуру плавлення (3600 К), формостійкий при високій робочій температурі, стійкий до механічних навантажень, володіє високою пластичністю в гарячому стані, що дозволяє виготовляти з нього нитки досить малих діаметрів шляхом протягування дроту через калібровочний отвір. Спіраль нагрівається до температури 2500...2800 °С.

Залежно від типу лампи вводи можуть бути одно-, дво- і триланковими. Вводи і тримачі є частиною так званої ніжки. Це скляний конструктивний вузол лампи, який слугує опорою для тіла розжарювання лампи (спіралі) і разом з колбою забезпечує герметизацію лампи.

Для забезпечення нормальної роботи розжареної вольфрамової спіралі необхідно ізолювати її від кисню повітря. Для цього в колбі створюють вакуум (вакуумні лампи). В газонаповнених лампах розжарювання колбу заповнюють інертним газом (аргон, криптон, ксенон із різним вмістом азоту). В галогенних лампах до газу, що заповнює колбу, додають певну долю галогенів, наприклад -йоду.

2.2. Принцип дії ламп розжарювання

Принцип дії освітлювальних ламп розжарювання заснований на випромінюванні відповідних довжин хвиль за рахунок електронного збудження молекул і атомів та теплового коливання

ядер молекул тіла розжарювання. Під час підвищенні температури розжарювання збільшується енергія поступального, коливального і обертального руху часток тіла, в наслідок чого зростає потік випромінювання і середня енергія фотонів. Довжини хвиль зміщуються в короткохвильову (інфрачервону) і далі – у довгохвильову (видиму) область. Подальше збільшення температури тіла розжарювання забезпечує енергію, достатню для електронного збудження молекул й атомів і отримання більш короткохвильового видимого випромінювання.

Отже, основним фактором, що визначає щільність і довжину хвилі випромінювання теплових джерел, є температура.

За законом Стефана-Больцмана, енергетична щільність випромінювання тіла розжарювання пов'язана з температурою виразом:

$$M = \varepsilon \sigma_0 T^4, \quad (2.1)$$

де M – енергетична щільність випромінювання, Вт/м²;

ε – коефіцієнт теплового випромінювання тіла розжарювання, (його середнє інтегральне значення); для вольфраму при $T = 2600 \dots 3000$ К $\varepsilon = 0,334$;

σ_0 – стала Стефана-Больцмана ($\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт·м⁻²·К⁻⁴);

T – температура тіла розжарювання, К.

Довжина хвилі λ_{\max} , за якої спектральна щільність випромінювання максимальна, також залежить від температури (закон Віна):

$$\lambda_{\max} T = 2896 \text{ мкм} \cdot \text{К}. \quad (2.2)$$

Якщо спіраль лампи розглядати як абсолютно чорне тіло, то залежність щільності випромінювання від температури і довжини хвилі можна описати законом випромінювання Планка:

$$f(\lambda, t) = r_{0\lambda, T} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{(C_2/\lambda T)} - 1}, \quad (2.3)$$

де $C_1 = 2\pi hc^2 = 3,742 \text{ Вт}\cdot\text{м}^2$; $C_2 = hc/k = 1,439 \text{ м}\cdot\text{К}$ – сталі;
 $r_{\lambda,T}$ – спектральна щільність випромінювання, $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$;
 k – стала Больцмана.

Графік спектральної щільності випромінювання вольфраму при різних температурах розжарювання наведений на рис. 2.3.

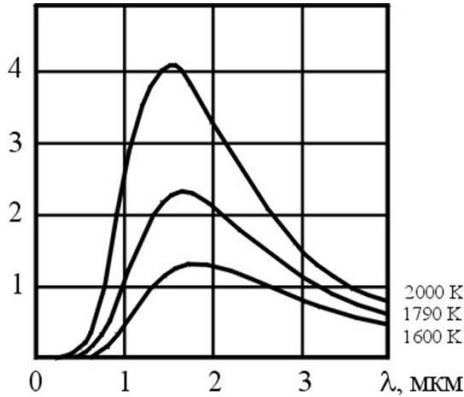


Рис. 2.3. Графіки спектральної щільності випромінювання вольфраму

2.3. Характеристики ламп розжарювання

Основними характеристиками освітлювальних ламп розжарювання є електричні (номінальні потужність і напруга), світлотехнічні (світловий потік, спектральний склад випромінювання) і експлуатаційні (світлова віддача, термін служби, геометричні розміри).

Потужність ламп залежить від напруги і геометричних розмірів вольфрамової спіралі:

$$P = \frac{U^2}{R_T} = \frac{U^2 S_c}{\rho_T l}, \quad (2.4)$$

де R_T – опір спіралі при робочій температурі, Ом;

ρ_T – питомий опір вольфраму при робочій температурі, Ом/м³;

S_c – площа перерізу вольфрамового дроту, m^2 ;

l – довжина вольфрамового дроту, m .

Світловий потік лампи при заданій потужності залежить лише від температури тіла розжарювання. Це є наслідком закону Стефана-Больцмана, згідно якого:

$$\Phi = MSC = \varepsilon \sigma_0 T^4 SC, \quad (2.5)$$

де Φ – світловий потік тіла розжарювання лампи, lm ;

S – площа поверхні тіла розжарювання, що випромінює, m^2 ,

C – коефіцієнт переходу від енергетичного до світлового потоку, lm/Wt .

Із виразу (2.5) випливає, що при одній і тій же електричній потужності вакуумні лампи створюють менший світловий потік, ніж газонаповнені, оскільки температура розжарювання у них різна.

Спектр випромінювання ламп розжарювання – неперервний (суцільний), перебуває в червоно-жовтій області (360...780 нм). Максимум випромінювання припадає на інфрачервоні довжини хвиль.

Світлова віддача показує, який світловий потік створює лампа на одиницю потужності, що споживає із електромережі (lm/Wt). В ідеальному випадку світлова віддача залежить лише від температури тіла розжарювання. Наприклад, при збільшенні температури вольфраму від 2400 до 3200 К його світлова віддача зростає з 9,4 до 34,7 lm/Wt .

Світлову віддачу визначають за наступною формулою:

$$\eta = \frac{\Phi_{л}}{P_{л}}. \quad (2.6)$$

Світлова віддача характеризує економічність джерела світла. Для ламп розжарювання світлова віддача дорівнює 7...20 lm/Wt . Збільшення світлової віддачі за рахунок зростання температури обмежене різким зниженням терміну служби тіла розжарювання.

Термін служби ламп також залежить від стійкості тіла розжарювання.

Основним фактором, що впливає на характеристики ламп розжарювання при їх експлуатації, є напруга. Відхилення живлячої напруги від номінального значення істотно впливає на характеристики ламп розжарювання.

Зміна світлового потоку Φ , електричної потужності P , світлової віддачі η , струму I й середньої тривалості горіння t_c , при відхиленнях живлячої напруги можуть бути наближено визначені з рівнянь:

$$\begin{aligned} \Phi/\Phi_{\text{ном}} &= (U/U_{\text{ном}})^{3,67}; \quad P/P_{\text{ном}} = (U/U_{\text{ном}})^{1,6}; \\ I/I_{\text{ном}} &= (U/U_{\text{ном}})^{0,6}; \quad \eta/\eta_{\text{ном}} = (U/U_{\text{ном}})^{2,14}; \\ t_{\text{ch}}/t_c &= (U/U_{\text{ном}})^{14,8}. \end{aligned} \quad (2.7)$$

Як видно з рівнянь (2.7), зі зростанням напруги на лампі різко збільшується сила струму, потужність, світловий потік і світлова віддача, але зменшується середній термін служби. При невеликих відхиленнях напруги в мережі (до 7,5 %) можна наближено вважати, що відхилення напруги ± 1 % змінює світловий потік лампи на $\pm 2,7$ %, а середню тривалість горіння - на ± 14 %.

2.4. Переваги і недоліки ламп розжарювання

Переваги:

- безпосереднє увімкнення в мережу, без додаткових апаратів;
- невисока вартість;
- зручність в експлуатації;
- відносно невеликі початкові затрати на освітлювальну установку;
- великий вибір за конструктивними особливостями;
- широка номенклатура за номінальною напругою і потужністю ламп;
- стабільність світлового потоку впродовж служби.

Недоліки:

- невеликий термін служби (для ламп загального призначення середній термін служби складає 1000 год);

- низька світлова віддача (до 20 лм/Вт);
- неекономічність (понад 90 % електроенергії втрачається на нагрів тіла розжарювання і лише до 10 % виділяється у вигляді світла).

2.5. Маркування ламп розжарювання

Маркуються лампи розжарювання наступним чином.

Перший елемент (від однієї до чотирьох літер) – характеризує лампу за фізичними і конструктивними особливостями: В – вакуумна; Г – газонаповнена аргонна моноспіральна; Б – аргонна біспіральна; БК – біспіральна криптонова; МТ – в матованій колбі; МЛ – в колбі молочного кольору; О – в опаловій колбі.

Другий елемент (літерний вираз із однієї-двох літер) – визначає призначення ламп: А – автомобільна; Ж – для залізниць; КМ – комутаторна; ПЖ – прожекторна; СМ – для літаків.

Третій елемент (цифровий вираз) – визначає номінальну напругу в В, через дефіс – номінальна потужність у Вт (для двох спіральних ламп після номінальної напруги вказується сила світла, кд).

Четвертий елемент – порядковий номер доробки (для ламп, що розроблюють вперше, четвертий елемент відсутній).

Приклад маркування ламп:

БКМТ215-225-100-2 – лампа розжарювання біспіральна криптонова в матованій колбі, номінальна напруга 215-225 В, номінальна потужність – 100 Вт, друга доробка;

A12-21+5 – лампа розжарювання автомобільна, номінальна напруга – 12 В, двох спіральна, сила світла 21 і 5 кд.

2.6. Галогенні лампи

За структурою і принципом дії галогенні лампи подібні до ламп розжарювання, але вони містять в газі-наповнювачі незначні добавки галогенів (фтор, хлор, бром, йод) або їх сполуки. За допомогою цих добавок можливо в певному температурному інтервалі практично повністю запобігти потемнінню колби (що

викликається випаровуванням атомів вольфраму спіралі). Тому розмір колби в галогенних лампах розжарювання може бути дуже зменшений.

Галогенні лампи конструктивно не відрізняються від ламп розжарювання, але володіють більш тривалим терміном служби. Між терміном служби і світловою віддачею існує пряма залежність: чим більша світловіддача, тим менший термін служби. Термін служби в галогенних лампах збільшений за рахунок йодно-вольфрамового циклу: на стінці колби утворюються леткі сполуки – галогеніди вольфраму, які випаровуються зі стінки, розкладаються на тілі розжарювання і повертають йому випарувані атоми вольфраму.

Галогенні лампи, в порівнянні зі звичайними лампами розжарювання, мають більш стабільний світловий потік, значно менші розміри, більш високу термостійкість і механічну міцність завдяки застосуванню кварцової колби.

Технічні дані рефлекторних галогенних ламп наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Технічні дані рефлекторних галогенних ламп

Тип	Потужність, Вт	Напруга, В	Сила світла, кд
КГР	20	12	460
КГР	35	12	730
КГР	50	12	1000
КГР	75	12	2200

Маркування галогенних ламп:

- *перша літера* – матеріал колби (К – кварцова);
- *друга літера* – вид галогенної добавки (Г – галоген йод);
- *третьа літера* – область застосування (О – опромінювальна) або конструктивна особливість (М – малогабаритна);
- *перша група цифр* – номінальна напруга, В;
- *друга група цифр через дефіс* – номінальна потужність, Вт.

Приклад маркування галогенних ламп: КГМ12-40 – в кварцовій колбі, галогенна, малогабаритна, номінальна напруга – 12 В, номінальна потужність – 40 Вт.

РОЗДІЛ 3

ГАЗОРОЗРЯДНІ ДЖЕРЕЛА СВІТЛА

Розрядною називають лампу, в якій оптичне випромінювання виникає в результаті електричного розряду в газах, парах або їх сумішах.

Принцип дії розрядних ламп заснований на електричному розряді між двома електродами, запаяними в прозору колбу. Форма колби може бути різною: трубчатою, капілярною, кульовою.

Класифікують розрядні лампи за фізичними, конструктивними, експлуатаційними параметрами, а також залежно від області застосування.

До фізичних параметрів газорозрядних ламп належить: спектр і кольоровість випромінювання, яскравість, енергетичний ККД.

Для розрядних ламп визначальним фактором є склад газового середовища, тиск компонентів газового середовища і електричний струм. Залежно від складу газів або парів, в яких відбувається розряд, їх поділяють на лампи з розрядом в газах, в парах металів, в парах металів і сполук.

За робочим тиском розрядні лампи поділяють на:

- лампи низького тиску ($0,1 \dots 10^4$ Па);
- лампи високого тиску ($3 \cdot 10^4 \dots 10^6$ Па);
- лампи надвисокого тиску (понад 10^6 Па).

За видом розряду газорозрядні лампи поділяють на лампи дугового, тліючого й імпульсного розряду.

Область застосування розрядних ламп визначають за тим, що вони мають більшу світлову віддачу і більший термін служби в порівнянні з лампами розжарювання.

3.1. Люмінесцентні лампи

Люмінесцентні лампи (флуоресцентні) – це розрядні джерела світла низького тиску, в яких ультрафіолетове випромінювання ртутного розряду перетворюється люмінофором в довгохвильове видиме випромінювання.

Люмінофорами називаються тверді або рідкі речовини, які здатні випромінювати світло під дією різного роду збудження.

За характером розряду в люмінесцентних лампах їх поділяють на:

- лампи дугового розряду з гарячими катодами;
- лампи тліючого розряду з холодними катодами;
- лампи вихрового розряду без електродів.

Люмінесцентні лампи дугового розряду можна поділити на освітлювальні люмінесцентні лампи загального і спеціального призначення.

3.1.1. Конструкція люмінесцентних ламп. Люмінесцентна лампа низького тиску (рис. 3.1) являє собою циліндричну скляну колбу, на кінцях якої в цоколях 5 змонтовані вольфрамові спіральні електроди 6. На внутрішню поверхню по всій її довжині нанесено тонкий шар твердої кристалічної порошкоподібної речовини – люмінофора.

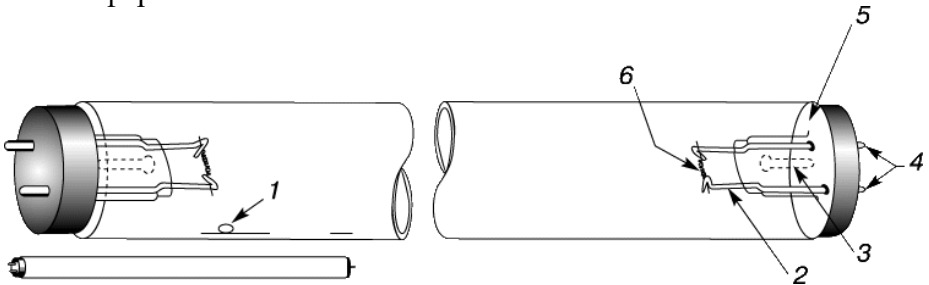


Рис. 3.1. Зовнішній вигляд і розріз люмінесцентної лампи:
1 – ртуть; 2 – штампована скляна ніжка з електровводами; 3 – трубка для відкачки (при виготовленні); 4 – контакти цоколя; 5 – цоколь; 6 – катод з емітерним напиленням.

Люмінофором слугує галофосфат кальцію, дозований марганцем і сурмою. Змінюючи пропорцію складу люмінофору можна отримати люмінесцентні лампи з різною кольоровістю випромінювання світлового потоку.

Після відкачування повітря при виготовленні лампи всередину колби вводять краплину ртуті 1 (20...30 мг), яка випаровується при роботі лампи. Також вводиться невелика кількість чистого газу -

аргону – для зменшення процесу випарювання вольфрамових електродів і прискорення запалювання лампи.

Довжина і діаметр скляної трубки визначаються потужністю, на яку вона розрахована (випускають лампи діаметром 40, 26 і 16 мм).

За формою розрізняють лінійні, U-подібні, кільцеві (рис. 3.2), а також компактні.

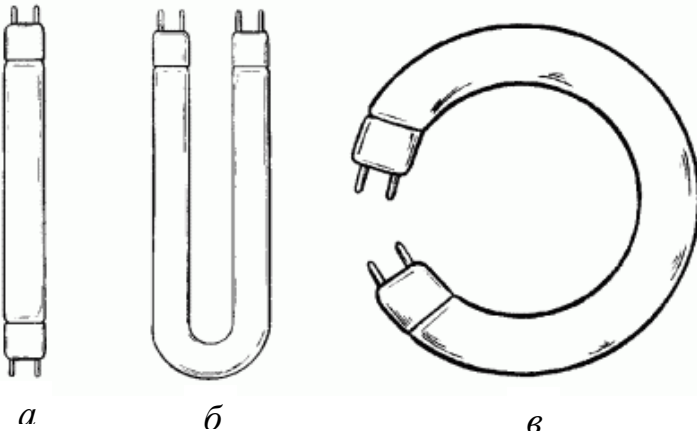


Рис. 3.2. Різні форми люмінесцентних ламп
а – лінійна; б – U-подібна; в – кільцева.

Світловіддача люмінесцентних ламп становить приблизно 40, 50, 60, 80 лм/Вт і більше. Випускають люмінесцентні лампи потужністю 20, 30, 40, 80 Вт з колбою діаметром 40 мм, а також лампи покращеної конструкції потужністю 18, 36, 58 Вт з колбою діаметром 26 мм.

3.1.2. Увімкнення люмінесцентних ламп у мережу. Запалювання люмінесцентної лампи і її нормальна робота вимагає застосування електромагнітного пускорегулюючого апарату (ЕмПРА) або електронного пускорегулюючого апарату (ЕПРА). В міжнародній практиці їх прийнято називати відповідно «баластом» або «електронним баластом».

Залежно від схеми увімкнення ламп застосовують ЕмПРА стартерні або безстартерні.

Стартерні ЕМПРА складаються з дроселя, стартера (запальвача) і конденсаторів.

Стартер слугує для автоматичного попереднього підігріву електродів і запалювання лампи. Зовнішній вигляд стартера та його схема зображені на рис. 3.3.

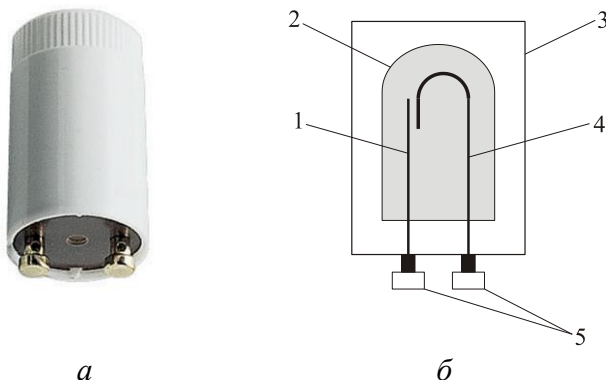


Рис. 3.3. Зовнішній вигляд стартера та його схема

a – зовнішній вигляд стартера; *б* – схема стартера:

1 – металічний електрод; *2* – скляний балон; *3* – захисна оболонка;
4 – біметалічний електрод; *5* – контакти.

Стартер (рис. 3.3, б) є лампою тліючого розряду, що складається із скляного балона 2 заповненого інертним газом – неоном. В скляному балоні вмонтовані два електроди: один металевий 1, інший – біметалевий 4. Між електродами є зазор 2...3 мм.

Дросель являє собою котушку індуктивності із осердям з листової електротехнічної сталі. Зовнішній вигляд дроселя зображено на рис. 3.4. Дросель має індуктивність 4...5 Гн. Така значна величина індуктивності, як правило, досягають за рахунок сталевого осердя з великою магнітною проникністю. Дросель створює механічні вібрації світильника на частоті 50 Гц із відповідним звуковим тиском на цій же частоті. Крім того, ця індуктивність призводить до значного зсуву фаз між струмом і напругою i , як наслідок, - до зниження коефіцієнту потужності.



Рис. 3.4. Зовнішній вигляд дроселя

На рис. 3.5. приведена типова схема стартерного запалювання люмінесцентної лампи, що вмикається в мережу 220 В.

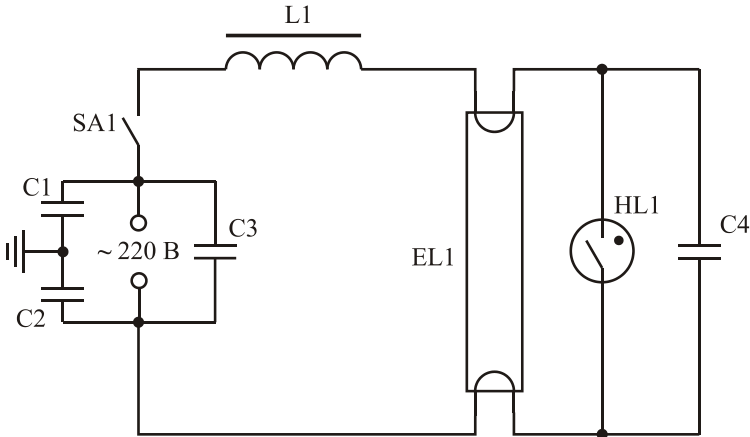


Рис. 3.5. Схема електрична ввімкнення люмінесцентної лампи в мережу

В момент ввімкнення лампи EL1 вимикачем SA1 на її електроди і стартер HL1 потрапляє повна напруга мережі. Напруги мережі для запалювання лампи недостатньо, але достатньо, щоб викликати розряд в стартері. В стартері виникає тліючий розряд, під дією якого біметалевий електрод нагрівається і, вигинаючись, замикається з іншим (металевим) електродом неонові лампи. Коло статора замикається і розпочинається процес нагріву електродів лампи. По закінченню розряду в стартері біметалічний електрод

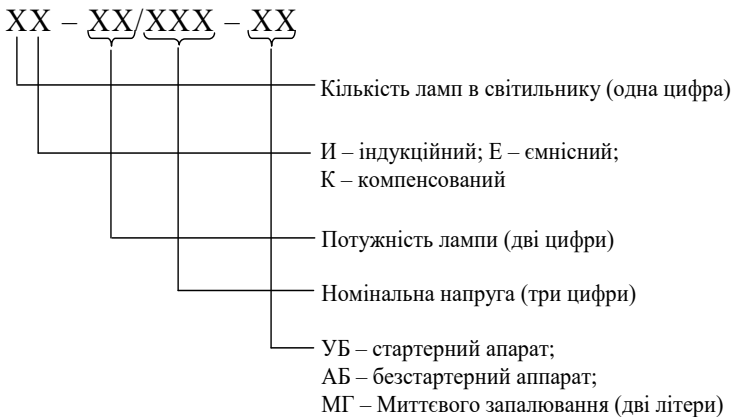
охолоджується, випрямляється і розмикає електричне коло. А оскільки в електричну мережу послідовно з лампою ввімкнене індуктивне навантаження (дросель L1), то в момент розмикання за рахунок перехідного процесу виникає імпульс підвищеної напруги, що викликає потужний дуговий розряд в лампі і запалює її. Напруга, що підводиться до електродів лампи, діє на вільні електрони та іони, що знаходяться в газі, змушуючи їх переміщуватись. На своєму шляху вони зіштовхуються з атомами газу і зривають з їх орбіт інші електрони, які лавиноподібно збільшують потік рухомих часток. Зрив електронів зі своїх орбіт супроводжується виділенням квантів світла. При цьому резонансне випромінювання газів, що наповнюють трубку (пари ртуті або пари натрію), перебуває в ультрафіолетовій області спектру, і тому розряд не може бути джерелом видимого випромінювання. Тому на внутрішню поверхню трубки наноситься люмінофор, що перетворює ультрафіолетове випромінювання газу – наповнювача трубки – у випромінювання видимого спектру. Люмінофор повинен володіти досить високою інерційністю для того, щоб знизити мерехтіння світла при живленні лампи від мережі промислової частоти.

Паралельно до електродів стартера вмикають конденсатор С4, призначення якого полягає у зменшенні амплітуди і збільшенні тривалості імпульсу напруги, що сприяє надійному запалюванню лампи. Крім цього, конденсатор С4 знижує рівень радіозавад, що виникають при увімкненні лампи. Конденсатор С3, що підключається паралельно лампі, слугує для підвищення коефіцієнту потужності схеми. Також паралельно лампі підключають конденсатори С1, С2, середню точку яких з'єднують з корпусом світильника. Вони призначені для зменшення радіозавад, що поширюються в мережі.

Стартерна схема запалювання відносно проста і дешева, і тому широко розповсюджена. Але вона викликає додаткову витрату електроенергії (біля 20 %) за рахунок включення в схему дроселя. Серйозним недоліком схеми живлення на частоті живлячої мережі є пульсації світлового потоку лампи із-за низької інерційності люмінофору, що призводить до стробоскопічного ефекту при виконанні ряду виробничих операцій з обертальними механізмами.

Крім стартерних схем запалювання люмінесцентних ламп також застосовують безстартерні. Вони поділяють на трансформаторні та імпульсні.

Підприємства-виробники для різних схем увімкнення люмінесцентних ламп комплектують окремі елементи схем увімкнення в блоки (ПРА). ПРА мають маркування, що складається із цифр та літер.



3.1.3. Живлення люмінесцентних ламп на високій частоті.

У разі живлення люмінесцентних ламп змінним струмом частотою понад 20 кГц, світловий потік збільшується на 15...20 %, а термін служби збільшується на 20...30 %. При цьому зникають два головні фактори негативного впливу на людину: пульсації світлового потоку і високий рівень звукового тиску. Створення потужних, відносно дешевих електронних ПРА високої частоти стало можливим лише з відповідним розвитком мікроелектроніки. Основний їх недолік – це велика вартість у порівнянні з низькочастотними баластами.

У теперішній час з успіхом застосовують схеми запалення люмінесцентних ламп з електронними ПРА (ЕПРА) на базі напівпровідникових пристроїв. Вони значно покращують якість освітлення. ЕПРА слугують для запалення і стабілізації режиму роботи лампи, об'єднуючи в одній схемі функції дроселя (індуктивного баласту), стартера, компенсуючих і заводозахисних

конденсаторів. ЕПРА відмикають несправні лампи для уникнення подразнюючого миготіння, а також вмикають лампи одночасно без шуму. Застосування ЕПРА зменшує витрати на обслуговування і дозволяє економити електроенергію на 20-30 %.

Структурна схема електронного ПРА зображена на рис. 3.6.

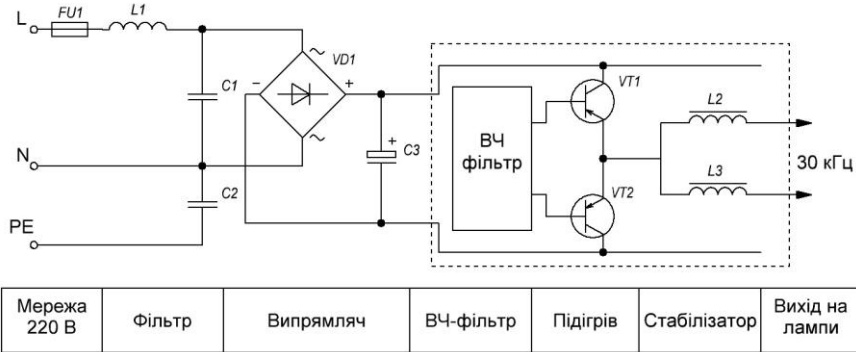


Рис. 3.6. Схема електронного ПРА

3.1.4. Характеристики люмінесцентних ламп. Світловий потік люмінесцентних джерел світла залежить від потужності ламп, спектр випромінювання – від складу люмінофору. Наприклад, лампи типу ЛД випромінюють 92 % потоку в області 460...610 нм, лампи ЛБЦ – 94% потоку в області 510...660 нм.

Пульсація світлового потоку обумовлена загасанням і повторним запалюванням лампи в кожний напівперіод змінного струму. Освітлення об'єктів пульсуючим світловим потоком стомлює зір, викликає стробоскопічний ефект.

Пульсацію світлового потоку характеризують коефіцієнтом пульсації:

$$K = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{2\Phi_{\text{ср}}}, \quad (3.1)$$

де Φ_{\max} , Φ_{\min} , $\Phi_{\text{ср}}$ – відповідно максимальне, мінімальне і середнє значення світлового потоку лампи, лм.

Коефіцієнт пульсації визначають складом люмінофору і схемою увімкнення в мережу (зазвичай, при живленні лампи струмом з частотою 50 Гц, $K = 0,25 \dots 0,4$)

Світлова віддача люмінесцентних ламп становить 60...80 лм/Вт і залежить від властивостей люмінофору, співвідношення довжини і діаметру трубки лампи. Світлова віддача знижується на 30...40 % до кінця терміну служби ламп. Це обумовлюється незворотними хімічними реакціями люмінофору з домішками в газах, зношенням електродів та іншими факторами.

Термін служби люмінесцентних ламп залежить від стійкості електродів. Електротехнічна промисловість випускає люмінесцентні лампи з терміном служби до 10...12 тисяч годин.

3.1.5. Переваги і недоліки люмінесцентних ламп. Люмінесцентні лампи вмикають в електричну мережу за допомогою пускорегулюючої апаратури для запалення і забезпечення нормального режиму роботи. Це ускладнює конструкцію, збільшує вартість освітлювальних приладів і складність в експлуатації, що є недоліком люмінесцентних ламп. До недоліків люмінесцентних ламп також можна зарахувати складність утилізації внаслідок наявності в колбі ртуті, ненадійна робота в температурних діапазонах до 15 °С і вище 25 °С, відносно низька стабільність світлового потоку протягом терміну служби.

Окрім вказаних недоліків люмінесцентні лампи володіють рядом переваг, до яких потрібно зарахувати:

- лінійне джерело світла дозволяє створити більш рівномірне освітлення і естетичне оформлення освітлювальної установки;
- велика світлова віддача (до 100 лм/Вт);
- тривалий термін експлуатації – 10000...12000 год;
- низька яскравість і температура поверхні колби;
- якісна передача кольору;
- відносна невисока собівартість виготовлення.

3.1.6. Маркування люмінесцентних ламп. Маркування люмінесцентних ламп складається із букв, що позначають конструктивні ознаки і цифр, що вказують потужність ламп.

Перша група літер – тип лампи: Л – люмінесцентна; ТЛ – сигнальна; ЛЛ – тліючого розряду; ГР – трубки для світлової реклами.

Друга група літер – колір випромінювання: Б – білий; ТБ – тепло-білий; ХБ – холодно-білий; Д – денний; Е – природно-білий; УФ – ультрафіолетовий; К – червоний; С – синій; З – зелений; Г – голубий.

Третя група літер – якість передачі кольору: Ц – висока; ЦЦ – дуже висока.

Четверта група літер – особливості конструкції лампи: Р – рефлекторна; У – U-подібна; К – кільцева; Б – швидкого пуску; А – амальгамна.

Цифри після літер – потужність лампи у Вт.

3.1.7. Компактні люмінесцентні лампи. Компактна люмінесцентна лампа (КЛЛ) – люмінесцентна лампа, яка має вигнуту форму колби, що дозволяє розмістити лампу в світильнику менших розмірів. Як правило, КЛЛ має вбудований електронний дросель. Загальний вигляд КЛЛ зображено на рис. 3.7.



Рис. 3.7. Загальний вигляд КЛЛ та її електронного дроселя
а – КЛЛ з цоколем E27; б – КЛЛ з цоколем G23.

КЛЛ розроблені для застосування в конкретних специфічних типах світильників, в звичайних світильниках для заміни ламп розжарювання.

Конструкція КЛЛ з вбудованим дроселем зображена на рис. 3.8.

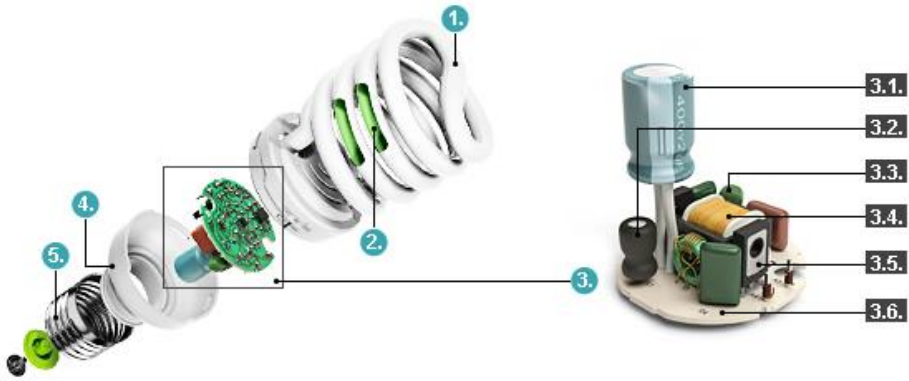


Рис. 3.8. Конструкція КЛЛ з вбудованим дроселем

На рис. 3.8:

1 – потовщення трубки. Трубка КЛЛ спроектована таким чином, щоб забезпечувати оптимальне розподілення газу всередині. Від цього залежить світловіддача з одиниці площі поверхні трубки, тобто її ефективність. Чим вона товща, тим меншого розміру можна зробити лампу зі збереженням необхідного світлового потоку.

2 – внутрішнє покриття колби. В залежності від складу люмінофору змінюється кольорова температура лампи. В КЛЛ використовують трьохсмуговий люмінофор, що забезпечує високу передачу кольору.

3 – ПРА. Призначений для узгодження параметрів і характеристик електричної мережі і джерела світла (розрядної трубки). Забезпечує необхідні режими запалювання і роботи лампи. Вибір схемотехнічного рішення і якість складання плати впливає на ефективність лампи і термін її служби.

3.1 – конденсатор фільтра випрямляча вхідної напруги. Цей елемент зазнає великих навантажень при ввімкненні лампи. Від його характеристик і якості напруги залежить термін служби лампи.

3.2 – дросель фільтру вхідної напруги (електромагнітний контролер) – блокує електромагнітне поле, що створюється при роботі лампи.

3.3 – позистор. Використовують для попереднього підігріву електродів лампи і зниження напруги її запалювання. Це подовжує термін служби лампи і підвищує стійкість до частих ввімкнень.

3.4 – дросель – один з найважливіших компонентів схеми ЕПРА, що слугує обмежувачем струму лампи в процесі роботи, а також приймає участь у запаленні лампи.

3.5 – силовий транзистор – основна ланка контуру «лампа – ЕПРА». Від стабільності його роботи залежить термін служби всієї електронної схеми.

3.6 – монтажна плата з термостійкого багат шарового склотекстоліту.

4 – вентиляційний отвір на нижній частині корпусу лампи – слугує для охолодження електронної компонентної бази, оскільки температура всередині лампи може досягати 105 °С.

5 – цоколь.

Маркування КЛЛ являє собою трицифровий код:

Перша цифра – індекс передачі кольору в 1×10^4 Ra. Чим вище індекс – тим достовірніша передача кольору. КЛЛ мають 60-98 Ra.

Друга і третя цифри – вказують на кольорову температуру лампи. Шкала кольорової температури приведена на рис. 3.9.

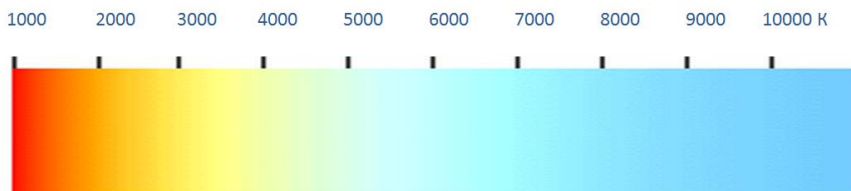


Рис. 3.9. Шкала кольорової температури

Наприклад, маркування «827» вказує на індекс передачі кольору в 80 Ra і кольорову температуру в 2700 K, що відповідає кольоровій температурі лампи розжарювання.

У порівнянні з лампами розжарювання КЛЛ мають більший термін служби. Основними причинами, що знижують термін

служби КЛЛ, є нестабільність (низька якість) напруги в мережі, експлуатація при підвищеній або заниженій температурі оточуючого середовища, часті увімкнення-вимкнення лампи.

За енергоефективністю (ККД) КЛЛ приблизно в 5 разів переважають лампи розжарювання. Однак, на відміну від ламп розжарювання, більшість КЛЛ мають низьку якість електроспоживання, яку характеризують коефіцієнтом активної потужності близько 0,5. Крім того, за рахунок нелінійної ВАХ дугового розряду виникають спотворення синусоїдальності форми кривої напруги в мережі. Для усунення вказаних недоліків ЕПРА ламп оснащують косинусними конденсаторами та фільтрами.

Переваги КЛЛ:

- висока світловіддача. При однаковій споживаній з мережі потужності світловий потік КЛЛ у 4...6 разів вищий, ніж у ламп розжарювання, що дає економію електроенергії 75...85 %;

- не є точковим джерелом світла, а випромінює світло усією поверхнею колби (на відміну від ламп розжарювання);

- тривалий термін служби в неперервному циклі експлуатації (без частих увімкнень-вимкань);

- можливість створення ламп з різними значеннями кольорової температури, а також ламп різних кольорів і м'якого ультрафіолету з високим ККД;

- нагрів корпусу і колби значно нижчий, ніж у лампи розжарювання (проте вищий, ніж у світлодіодних ламп);

- відсутність стробоскопічного ефекту за рахунок використання ЕПРА.

Недоліки КЛЛ:

- короткий термін експлуатації в реальних умовах побутового застосування, іноді співставний з терміном служби ламп розжарювання;

- неповна сумісність з існуючою інфраструктурою освітлення (КЛЛ не розраховані на часті ввімкнення-вимкнення, що унеможлиблює їх використання в різних автоматичних системах освітлення з давачами руху; негарантоване запалювання при знижених температурах і значних (до 10 %) відхиленнях напруги в мережі) та ін.;

- періодичне самовільне запалювання вимкненої лампи (за рахунок струмів витікання);
- екологічні проблеми утилізації КЛЛ.

3.2. Розрядні лампи високого тиску

До розрядних ламп високого тиску належать ртутні лампи високого тиску, металогалогенні лампи, натрієві лампи, ксенонові лампи.

3.2.1. Ртутні лампи високого тиску. Ртутні лампи високого тиску (лампи ДРЛ) являють собою трубку із кварцового скла. Загальний вигляд та конструкція лампи ДРЛ зображені на рис. 3.10.

В торці трубки впаяні активовані вольфрамові електроди. Всередину трубки після ретельного видалення повітря вводиться строго дозована кількість ртуті і аргон при тиску 1,5...3,0 кПа. Аргон слугує для полегшення запалювання розряду і захисту електродів від розпилювання в початковій стадії запалювання лампи, оскільки при кімнатній температурі тиск парів ртуті дуже низький (біля 1 Па). В деяких типах ламп кварцова трубка розміщується всередині скляної колби.

Після запалювання дугового розряду відбувається нагрівання розрядної трубки і випаровування ртуті. Тиск парів ртуті підвищується, разом з тим змінюються всі характеристики розряду: зростає напруга на лампі, потужність, потік випромінювання і ККД. Цей процес продовжується протягом 5...7 хвилин до тих пір, поки не випарується вся ртуть, після чого всі характеристики стабілізуються. Внутрішня поверхня скляної колби покрита тонким шаром порошкоподібного люмінофору. В якості люмінофору застосовують головним чином фосфат-ванадіт іттрію, активований європієм.

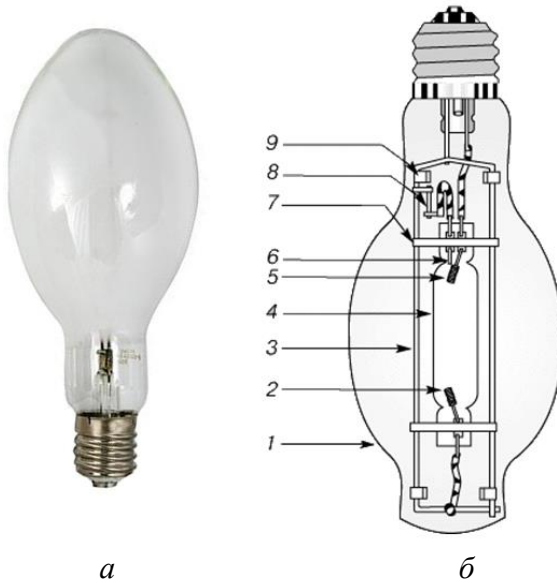


Рис. 3.10. Зовнішній вигляд та конструкція лампи ДРЛ:

a – загальний вигляд лампи ДРЛ; *б* – конструкція лампи ДРЛ:

- 1* – зовнішня колба; *2* – робочий електрод; *3* – струмопровідні стійки;
4 – кварцова трубка дугового розряду; *5* – робочий електрод; *6* – пусковий електрод; *7* – опорні траверси трубки дугового розряду; *8* – пускові резистори; *9* – опорні елементи.

Лампи типу ДРЛ випускають з горілками, що мають окрім двох основних електродів ще два запалювальних електрода, що слугують для полегшення запалювання розряду. Лампи вмикаються в електричну мережу через дросель. Лампи ДРЛ характеризуються високими світловіддачею і терміном служби (в середньому 10000 год.). Світлова віддача ламп ДРЛ становить для ДРЛ250 – 54 лм/Вт; ДРЛ400 – 60 лм/Вт; ДРЛ700 – 58 лм/Вт; ДРЛ1000 – 59 лм/Вт. Спектр видимого випромінювання зміщений в бік ультрафіолетового випромінювання і тому ці лампи не придатні для освітлення тих приміщень, де робота пов'язана з високими вимогами до передачі кольору.

Схема включення лампи ДРЛ в мережу зображена на рис. 3.11.

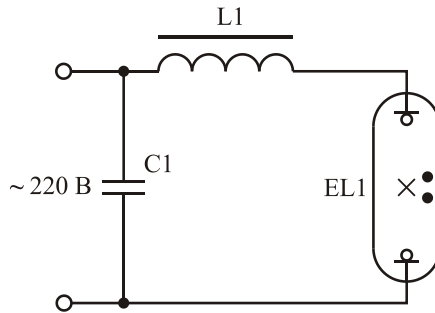


Рис. 3.11. Схема включення лампи ДРЛ в мережу

3.2.2. Металогалогенні лампи. Конструкція і принцип дії металогалогенних ламп засновані на тому, що галогеніди багатьох металів випаровуються легше, ніж самі метали, і не руйнують кварцове скло. Тому всередину колб металогалогенних ламп окрім ртуті і аргону додатково вводяться різні сполуки металів з галогенами. Після запалювання розряду, коли досягається робоча температура колби, галогеніди металів частково переходять в пароподібний стан. Потрапляючи в центральну зону розряду з температурою декілька тисяч градусів Кельвіна, молекули галогенідів дисоціюють на галоген і метал. Атоми металу збуджуються і випромінюють характерні для них спектри. Дифундуючи за межі розрядного каналу і потрапляючи в зону з більш низькою температурою неподалік стінок колби, вони знову окислюються галогенами, утворюючи галогеніди, які знову випаровуються і т.д. Такий замкнений цикл забезпечує деякі переваги перед лампами ДРЛ: по-перше, в розряді утворюється концентрація атомів металів, що дають необхідний спектр випромінювання. Це відбувається тому, що при робочій температурі кварцової колби $800...900^{\circ}\text{C}$ тиск парів галогенідів багатьох металів значно більше, ніж тиск парів самих металів (талій, індій, скандій, диспрозій та ін.). По-друге, з'являється можливість вводити в розряд лужні метали (натрій, літій, цезій) та інші агресивні метали (кадмій, цинк), які у чистому вигляді викликають швидке руйнування кварцового скла, а у вигляді галогенідів не викликають такого руйнування.

Для загального освітлення в теперішній час найбільш широке розповсюдження отримали металогалогенні лампи з наступними складами металогалогенних добавок (окрім ртуті і запалювального газу):

- йодіди натрію, талію, індію;
- йодіди натрію, скандію, торію.

Лампи мають спектр, що складається з окремих ліній ртуті і ліній добавок, що розміщені в різних областях спектру. Завдяки цьому вдається поєднувати високу світлову віддачу з задовільною якістю передачі кольору.

Металогалогенні лампи для загального освітлення типу ДРИ за конструкцією подібні лампам типу ДРЛ. Загальний вигляд ламп ДРИ наведено на рис. 3.12.

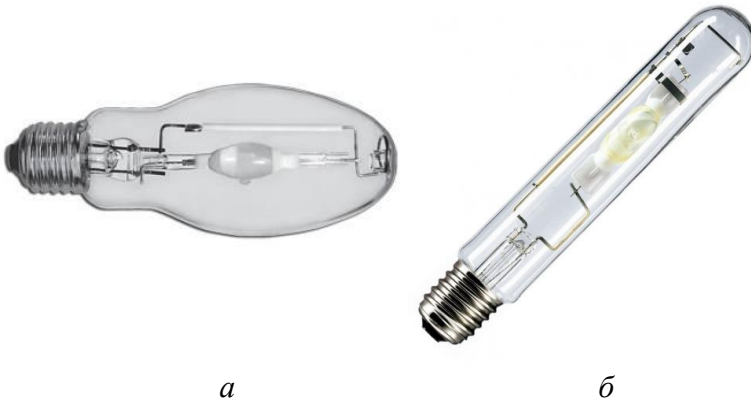


Рис. 3.12. Загальний вигляд металогалогенових ламп загального освітлення типу ДРИ:

- а* – лампа ДРИ в еліпсоїдальній прозорій колбі;
- б* – лампа ДРИ в циліндричній прозорій колбі

В якості зовнішньої колби застосовують стандартна зовнішня колба ламп типу ДРЛ, але без люмінофорного покриття, або спеціальна колба циліндричної форми.

В лампах ДРИ світлова віддача, передача кольору та світловий спектр значно покращуються, в порівнянні з лампами ДРЛ.

Світловіддача ламп становить приблизно для ДРИ 250 – 76 лм/Вт; ДРИ400 – 87 лм/Вт; ДРИ700 – 85 лм/Вт; ДРИ1000 – 90 лм/Вт.

Проте, термін служби ламп ДРИ дещо менший, ніж у ламп ДРЛ.

Для запалювання ламп ДРИ застосовують спеціальні запалюючі пристрої (імпульсний запалюючий пристрій – ІЗП), що дають високовольтний (до 50 кВ) імпульс високої частоти.

Зовнішній вигляд ІЗП та схема ввімкнення лампи ДРИ в мережу зображена на рис. 3.13.

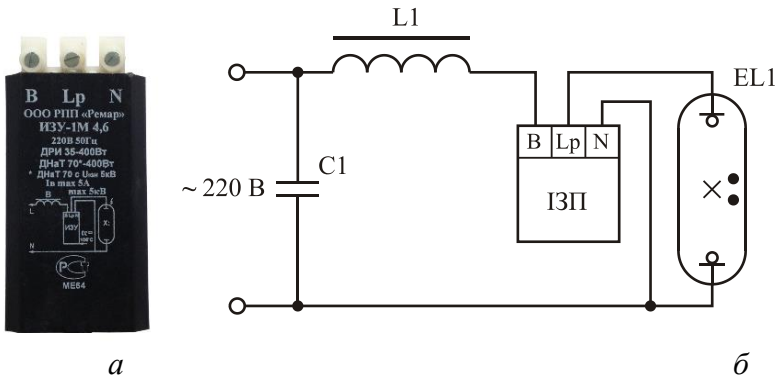


Рис. 3.13. Зовнішній вигляд ІЗП та схема ввімкнення лампи ДРИ в мережу
а – зовнішній вигляд ІЗП;
б – схема ввімкнення лампи ДРИ в мережу

3.2.3. Натрієві лампи. Принцип дії натрієвих ламп заснований на використанні резонансного випромінювання D -лінії натрію (589 і 589,6 нм). Ці лампи володіють найвищою світловіддачею і терміном служби серед розрядних ламп. Недоліком натрієвих ламп є занизька якість передачі кольору. Застосовують натрієві лампи для освітлення площ, парків та вуличного освітлення.

Залежно від робочого тиску парів натрію розрізняють два типи ламп: натрієві лампи низького тиску і натрієві лампи високого тиску.

Натрієві лампи низького тиску (ДНаО) являють собою розрядні трубки діаметром 15...25 мм і виготовляються із

спеціальних сортів скла, стійкого до впливу розряду в парах натрію. Застосовують натрієві лампи низького тиску для освітлення автострад, тунелів, складів, а також як архітектурне і декоративне освітлення.

Натрієва лампа високого тиску (ДНаТ) – це найбільш ефективні сучасні джерела світла. Світлова віддача їх сягає 100...130 лм/Вт. Тривалість роботи – 15000 год.

Спектр видимого випромінювання перебуває в зоні жовто-червоного кольору, що робить ці лампи непридатними для освітлення приміщень, де виконують зорові роботи. За рахунок великого світлового потоку і скривленого спектру випромінювання освітлення натрієвими лампами створює засліплення, дискомфорт, і, як наслідок, швидку втомлюваність і зниження працездатності.

Натрієві лампи типу ДНаТ для внутрішнього освітлення застосовують рідко через наявність великих пульсацій випромінюваного світлового потоку і значного ультрафіолетового випромінювання. Їх допускається використовувати лише з дозволу органів санітарного нагляду за умови, що освітленість в зоні перебування людей не перевищує 150 лк. Ці лампи широко використовують для освітлення вулиць, площ, парків.

Зовнішній вигляд та конструкція натрієвої лампи типу ДНаТ зображені на рис. 3.14.

Час повторного запалювання вимкненої лампи визначають часом охолодження розрядної трубки до температури, при якій імпульси напруги, що подаються, достатні для повторного розпалювання розряду (2...3 хв.).

Схема ввімкнення в мережу ламп ДНаТ аналогічна схемі ввімкнення ламп ДРИ (рис. 3.10).

3.2.4. Ксенонові лампи. В ксенонових лампах використовують розряд в газі ксеноні при високому і надвисокому тисках і щільності струму, що становить десятки і сотні А/см². Розряд в ксеноні неперервного спектру випромінювання в межах від 200 нм до 2 мкм. В видимій частині спектр близький до сонячного і забезпечує високу передачу кольору.

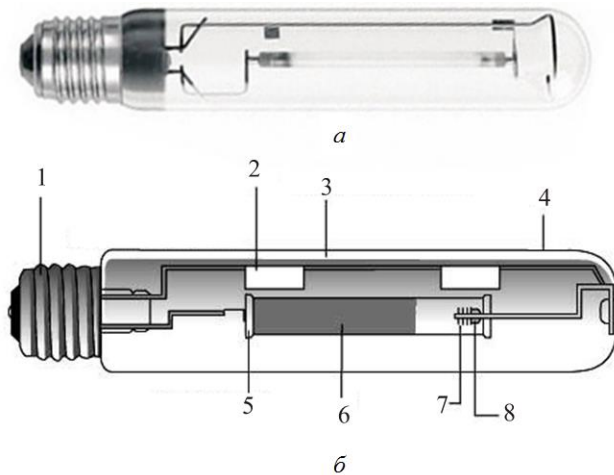


Рис. 3.14. Зовнішній вигляд та конструкція натрієвої лампи типу ДНаТ:

а – зовнішній вигляд; *б* – конструкція лампи:

1 – різьбовий цоколь; *2* – гетер; *3* – вакуум; *4* – зовнішня колба; *5* – спай дугової лампи; *6* – керамічна дугова лампа, що містить натрій; *7* – електрод; *8* – ізолююча пробка.

Для запалювання як безбаластних так і баластних ксенонових ламп також застосовують ІЗП. Застосовують ксенонові лампи для освітлення великих відкритих просторів, площ, архітектурних споруд та ін.

3.2.5. Пускорегулюючі апарати для ламп високого тиску.

Пристрої ПРА для ламп високого тиску містять елементи запалювання і стабілізації струму лампи. В позначенні ПРА для ламп ДРЛ, ДРИ, ДНаТ вказується:

- кількість ламп;
- виконання баластного опору (И – індуктивний);
- потужність лампи;
- номінальна напруга;
- виконання лампи.

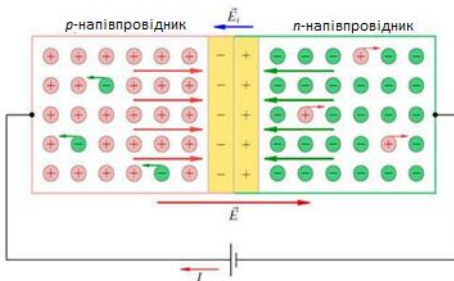
Наприклад, ИИ-250ДРЛ/220-В.

РОЗДІЛ 4

НАПІВПРОВІДНИКОВІ ДЖЕРЕЛА СВІТЛА

4.1. Принцип роботи напівпровідникових джерел світла

Найперспективнішим типом сучасних енергоефективних ламп є світлодіодні лампи. Світловипромінювальні діоди являють собою мікромініатюрні напівпровідникові джерела світла, в яких випромінювання виникає на напівпровідниковому переході внаслідок рекомбінації електронів та «дірок». У світловипромінювальних діодах використовують напівпровідникові матеріали, що леговані незначною кількістю контрольованих домішок, які створюють надлишок електронів (матеріал n -типу) або їх нестачу (матеріал p -типу). У місці контакту матеріалів p - й n -типів утворюється напівпровідниковий p - n перехід. Якщо до p - n переходу прикласти постійну напругу в кілька вольт прямої полярності (рис. 4.1 а), то прикладене поле переміщуватиме електрони і «дірки» назустріч одне одному і вони будуть рекомбінувати випускаючи фотони у видимому діапазоні (рис. 4.1 б).



а



б

Рис. 4.1. Конструкція світлодіоду

а – включення p - n переходу в пряму напругу;
 б – зовнішній вигляд та влаштування світлодіоду.

На електричних схемах світлодіод позначають як показано на рис. 4.2 а. Процес самовільної рекомбінації інжектованих електронів, що відбувається в базовій області і в самому $p-n$ переході, супроводжується їхнім переходом з високого енергетичного рівня на нижчий (рис. 4.2 б).

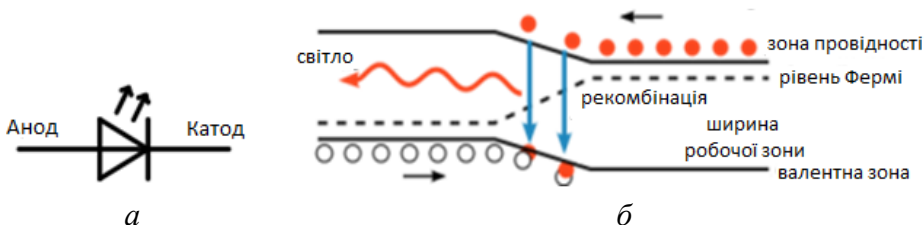


Рис. 4.2: Принцип дії світлодіоду та позначення його на електричних схемах

а – умовне позначення світлодіоду на електричних схемах;
б – ілюстрація до пояснення принципу дії світлодіоду

Електрон після рекомбінації знаходиться у нестабільному стані, оскільки він має зайву енергію ($E_{вк}$). Він перейде на стаціонарну орбіту з нижчим енергетичним рівнем ($E_{ст}$) і випромінює квант світла (фотон).

Не всі напівпровідникові матеріали ефективно випромінюють світло при рекомбінації. Гарними випромінювачами є прямозонні напівпровідники типу $A^{III}B^V$ (наприклад, GaAs або InP) і $A^{II}B^{VI}$ (наприклад, ZnSe або CdTe).

Діоди, виготовлені з непрямоzonних напівпровідників (наприклад, кремнієвий Si або германієвий Ge діоди, а також сплави SiGe, SiC), світло практично не випромінюють. Останнім часом, великі надії пов'язують з технологією квантових точок і фотонних кристалів.

Схеми підключення світлодіодів зображені на рис. 4.3 а.

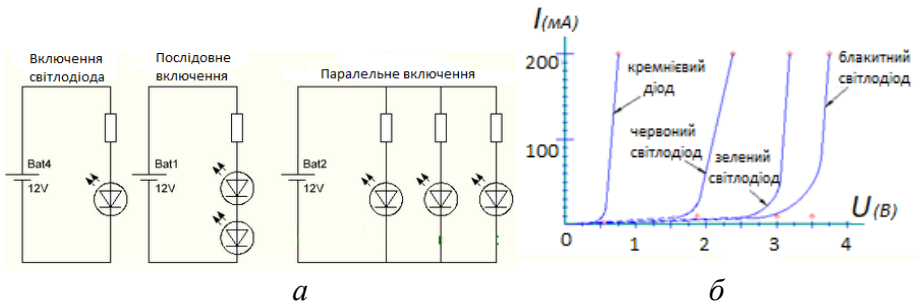


Рис. 4.3. Схеми підключення (а) та вольт-амперна характеристика червоного, зеленого та блакитного світлодіодів (б)

Різні кольорові світлодіоди для роботи вимагають різної напруги: зазвичай червоні світлодіоди вимагають близько 2-х вольт, а сині – близько 4-х вольт (рис. 4.3 б). Всі світлодіоди вимагають струму 20-30 мА незалежно від напруги.

На графіку рис. 4.3 б показано як сила струму червоного світлодіода змінюватиметься за різних напруг (вольт-амперна характеристика): при 1,7 В світлодіод є «вимкненим»; між 1,7 В і 1,95 В «динамічний опір» (відношення напруги до сили струму) зменшується до 4 Ом; понад 1,95 В світлодіод повністю «ввімкнений» і динамічний опір залишається сталим.

Вольт-амперна характеристика (ВАХ) світлодіодів в прямому напрямку є нелінійною і повторює за формою ВАХ звичайного кремнієвого діода (рис. 4.3 б).

Конструкція світлодіодної лампи з вбудованим драйвером зображена на рис. 4.4.

При підключенні світлодіодів до мережі 220 В потрібно:

- знизити напругу до необхідної і перетворити зі змінної в постійну;
- згладити пульсації;
- захистити драйвер та його навантаження від замкнень;
- захистити мережу від завад, що утворюються при роботі пристрою.

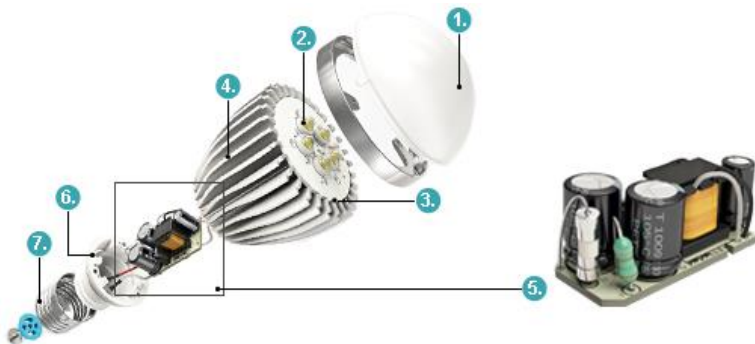


Рис. 4.4. Конструкція світлодіодної лампи :

1 – розсіювач, призначений для рівномірного розподілу світлового потоку в просторі; 2 – світлодіоди; 3 – плата світлодіодів з печатних провідників для їх послідовного з'єднання; 4 – радіатор охолодження для відводу тепла, що виділяється при роботі світлодіодів; 5 – драйвер. Формує напругу для світлодіодів; 6 – корпус драйвера (лампи); 7 – цоколь.

Для зниження напруги використовують:

- схеми з конденсатором;
- схеми із знижуючим трансформатором;
- інверторні схеми.

Схеми з конденсатором є простими і дешевими, тому їх використовують в більшості драйверів світлодіодних ламп. Функціонально вони схожі на схему з включеним послідовно з навантаженням резистором, на якому «падає» зайва напруга. Проте застосування резистора є недоцільним, оскільки на ньому втрачається потужність більша, ніж на самих світлодіодах.

Конденсатор на змінному струмі також «гасить» напругу. На схемі елементи C2, C3 і R1 призначені для зниження напруги до необхідної величини.

Недолік схеми з конденсатором – залежність напруги на навантаженні від напруги мережі живлення. Струм через світлодіоди нестабільний і іноді перевищує допустиме значення – в цей момент можливий вихід з ладу діодів. Другий недолік – немає гальванічної розв'язки з мережею.

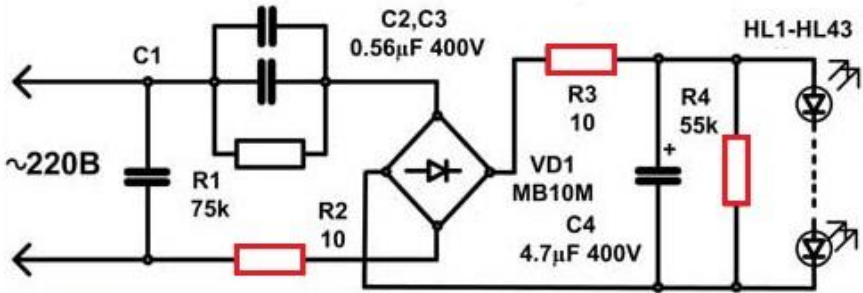


Рис. 4.5. Принципова схема драйвера світлодіодної лампи

Для випрямлення змінної напруги використовують діодний міст VD1, а для згладжування пульсацій – електролітичний конденсатор C4. Резистори R2 і R3 необхідні для обмеження струму в момент подачі напруги на схему. Розряджений електролітичний конденсатор має малий опір і в перший момент часу струм через нього великий - він може вивести з ладу напівпровідникові діоди випрямляча. Додатково резистори R2 і R3 при коротких замиканнях відіграють роль запобіжників. Резистор R4 розряджає конденсатор C4 після відключення від мережі для якнайшвидшого згасання лампи. Конденсатор C1 потрібен для запобігання проникнення завад від роботи лампи до мережі живлення.

Спектр випромінювання лампи залежить від матеріалу напівпровідника і домішок. Найпоширеніший – арсенід галію GaAs, що дає випромінювання в близькій до інфрачервоної області.

Перші світлодіоди створено на основі структур GaAsP/GaP. Крім них, у 60-і роки створено світлодіоди із GaP з червоним та жовто-зеленим світінням. Зовнішній квантовий вихід (відношення числа фотонів, що випромінює світлодіод, до загального числа перенесених через *p-n*-перехід елементарних зарядів) не перевищував 0,1%. Довжина хвилі випромінювання таких приладів містилась в межах 500 – 600 нм, тобто в області найвищої чутливості людського ока. Світлова віддача світлодіодів становила 1 – 2 лм/Вт, що достатньо для індикації.

Подальше вдосконалення світлодіодів відбувалося за напрямками збільшення зовнішнього квантового виходу та розширення спектру випромінювання. Було досягнуто зовнішнього квантового виходу до 15% для червоної частини спектру (світловіддача до 10 лм/Вт) та 30% – для інфрачервоної. Дослідження інших гетероструктур призвели до створення створення ефективних світлодіодів, що випромінюють в інших діапазонах спектру. Так, світлодіоди на основі фосфідів алюмінію-галію-індію випромінювали червоно-помаранчеве, жовте та жовто-зелене світло. Вони мали світловіддачу до 30 лм/Вт (і зовнішній квантовий вихід до 55%). На відміну від ламп розжарювання, світлодіоди випромінюють світло у відносно вузькій смузі спектру, ширина якої становить 20 – 50 нм, та займають проміжне положення між лазерами, світло яких монохроматичне (випромінювання із певною довжиною хвилі), і лампами різних типів білого світла (суміш випромінювань різних спектрів). Іноді таке «вузькосмугове» випромінювання називають «квазімонохроматичним».

Світловіддача ламп розжарювання з червоним світлофільтром становить лише 3 лм/Вт, тоді як у червоних світлодіодах – понад 30 лм/Вт. Наприклад, новітні прилади забезпечують 50 лм/Вт для червоної, 65 лм/Вт для помаранчево-червоної частини спектру і навіть 100 лм/Вт для жовто-оранжевих світлодіодів. Тривалий час розвиток світлодіодів стримувала відсутність приладів, що випромінюють у синьому діапазоні.

У синьо-зеленій області спектру вдалося досягти зовнішнього квантового виходу 20% та максимально наблизитися за рівнем енергоефективності до люмінесцентних ламп (світлова віддача 60 – 80 лм/Вт). Після винайдення синіх світлодіодів стало можливим отримання будь-якого кольору простим їх змішуванням, зокрема білого. У такому разі можна використовувати як окремі світлодіоди різних кольорів, так й трикристальні діоди білого світла, що об'єднують кристали червоного, синього та зеленого свічення в одному корпусі.

В таблиці 4.1 наведені доступні кольори, діапазон довжин хвиль, падіння напруги на діоді і матеріал напівпровідника.

Таблиця 4.1 Кольори з діапазоном довжин хвиль, матеріал напівпровідника

№ з/п	Колір	Довжина хвилі, нм	Напруга, В	Матеріал напівпровідника
1	2	3	4	5
6	Інфрачервоний	$\lambda > 760$	$\Delta U < 1,9$	Арсенід галію (GaAs). Алюмінію-галію арсенід (AlGaAs)
2	Червоний	$610 < \lambda < 760$	$1,63 < \Delta U < 2,03$	Алюмінію-галію арсенід (AlGaAs). Галію арсенід-фосфід (GaAsP), алюмінію-галію-індію фосфід (AlGaInP). Галію (III) фосфід (GaP)
3	Помаранчевий	$590 < \lambda < 610$	$2,03 < \Delta U < 2,10$	Галію фосфід-арсенід (GaAsP). Алюмінію-галію-індію фосфід (AlGaInP). Галію (III) фосфід (GaP), Галію фосфід-арсенід (GaAsP).
4	Жовтий	$570 < \lambda < 590$	$2,10 < \Delta U < 2,18$	Галію арсенід-фосфід (GaAsP). Алюмінію-галію-індію фосфід (AlGaInP). Галію (III) фосфід (GaP)
5	Зелений	$500 < \lambda < 570$	$1,9^{[21]} < \Delta U < 4,0$	Індія-галію нітрид (InGaN) . Галію (III) нітрид (GaN).
6	Блакитний	$450 < \lambda < 500$	$2,48 < \Delta U < 3,7$	Селенід цинку (ZnSe). Індію-галію нітрид (InGaN). Карбід кремнію (SiC) в якості субстрату.

Продовження табл. 4.1.

1	2	3	4	5
7	Фіолетовий	$400 < \lambda < 450$	$2,76 < \Delta U < 4,0$	Індію-галію нітрид (InGaN)
8	Пурпурний	Суміш кількох спектрів	$2,48 < \Delta U < 3,7$	Подвійний: синій / червоний діод, синій з червоним люмінофором, або білий з пурпуровим пластиком
9	Ультрафіолетовий	$\lambda < 400$	$3,1 < \Delta U < 4,4$	Алмаз (235 nm). Нітрид бору (215 nm). Нітрид алюмінію (AlN) (210 nm).
10	Білий	Широкий спектр	$\Delta U \approx 3,5$	Синій / ультрафіолетовий діод з люмінофором.

Окрім високої світловідачі, незначного енергоспоживання та можливості отримання будь-якого кольору випромінювання, світлодіоди мають нетеплову природу випромінювання, що обумовлює значний термін експлуатації. Виробники світлодіодів декларують тривалість роботи до 100 тисяч годин, або 11 років безперервної роботи, – термін, порівняний з життєвим циклом багатьох освітлювальних установок. Відсутність скляної колби визначає високу механічну міцність та надійність.

Внаслідок незначного тепловиділення та низьких значень напруги живлення світлодіоди мають високий рівень безпеки, а їх безінерційність гарантує швидкодію. Мініатюрність та вбудоване світлорозподілення визначають й інші переваги. Світлові прилади на основі світлодіодів компактні, плоскі та зручні під час монтажу.

Колірна температура та загальний індекс перенесення кольорів вельми актуальні для білих світлодіодів, які використовують для освітлення. Виробники декларують індекс кольоропередачі R_a до

75 – 85 (достатнє передавання кольорів). Ще кращих результатів можна досягти, «синтезуючи» білий колір шляхом змішування кількох кольорів, у такому разі білі світлодіоди можна використовувати разом з «кольоровими».

4.2. Порівняння напівпровідникових ламп з традиційними джерелами світла

Світлодіодні світлові прилади мають спільні риси з традиційною світлотехнікою і водночас відрізняються від неї. Важливо розуміти це, щоб коректно проводити порівняння між звичайними і світлодіодними приладами, а також, щоб правильно підбирати світлодіодні прилади для різних областей застосувань. Є різні типи світлодіодних світлових приладів, які різняться за рівнем світлового потоку, розмірами і призначені для великої кількості областей застосування. Світлодіодні світлові прилади можна встановлювати і живити так само просто, як і традиційні, з використанням звичайної електропроводки.

Під час розгляду питань щодо вибору джерела світла (рис. 4.6) для освітлення, потрібно проаналізувати переваги та недоліки джерел світла й зробили висновки щодо доцільності застосування ламп з урахуванням рекомендацій СНІП.



Рис. 4.6. Зовнішній вигляд світлодіодних ламп:

a – лампи розжарювання та люмінесцентні лампи:

1, 2 – лампи розжарювання 60Вт Philips (720 лм / 2700К) та 40Вт Philips (415 лм / 2700К); 3 – люмінесцентна спіраль в кулі 13Вт Navigator (780 лм / 2700К);

4 – люмінесцентна спіраль 15Вт Shine (900 лм / 2700К); 5 – світлодіодна лампа

9Вт (800 лм / 3000К); 6 – світлодіодна лампа 7Вт (630 лм / 3015К);

б – лінійні трубчасті лампи;

в – циліндрична цокольна лампа.

Світлодіодні прилади мають традиційні типи цоколів, що дозволяє легко замінювати ними інші типи освітлювальних пристроїв, виходячи з порівняння основних характеристик ламп.

У табл. 4.2 наведено основні світлотехнічні характеристики джерел світла.

Таблиця 4.2. Світлотехнічні характеристики джерел світла

Тип джерела світла	Світло- віддача, лм/Вт	Індекс кольоропе- редачі, Ra	Термін роботи, год.
Лампи розжарювання	7 – 18	100	800 – 1000
Галогенні лампи розжарювання	13 – 30	100	3000
Люмінесцентні лампи	50 – 80	60-85	10000 – 12000
Компактні люмінесцентні лампи	40 – 80	85	6000 – 12000
Ртутні високого тиску	40 – 55	40 – 60	12000 – 20000
Натрієві лампи високого тиску	80 – 150	23 – 80	10000 – 15000
Натрієві лампи низького тиску	100 – 200	–	10000 – 15000
Ксенонові лампи	120 – 150	70 – 95	2000
Металогалогенові лампи	70 – 90	70 – 95	8000 – 10000
Індукційні ртутні низького тиску	200	–	60000
Світлодіодні лампи	100 – 140	75 – 85	100000

Отже, основні переваги світлодіодного освітлення порівняно з традиційними джерелами світла:

1. Економічність;
2. Довгочасність;

3. Надійність – світлодіоди працюють у будь-яких погодних умовах за температур від -60°C до $+40^{\circ}\text{C}$, характеризують високою стійкістю до вібрації та механічних дій;

4. Компактність – надмалі розміри світлодіодів обумовлюють можливість створення нестандартних освітлювальних приладів;

5. Високий рівень світловіддачі;

6. Безпечність – не застосовують небезпечні речовини (на кшталт ртуті); мала температура нагрівання корпусу світлодіода; відсутність мерехтіння;

7. Спрямованість випромінювання – використання різних оптичних аксесуарів (лінзи, коліматори, рефлектори) дозволяють регулювати спрямованість свічення;

8. Мала інерційність – ввімкнення / вимкнення за < 100 нс;

9. Світлодіоди можуть забезпечити весь діапазон колірних температур: теплий, нейтральний, холодний, денний;

10. Відсутність пульсацій та мерехтіння;

11. Екологічність (відсутність ртуті);

12. Значне заощадження споживаної електроенергії та високий ККД, що обумовлює швидку окупність.

В теперішній час існують дві групи світлодіодів, які випромінюють біле світло: *RGB* світлодіоди та люмінофорні білі світлодіоди.

4.3. RGB світлодіоди

Білий колір може бути створений шляхом змішування випромінювань світлодіодів різного кольору. Найбільш розповсюджена трихроматична конструкція із червоного (R), зеленого (G) і синього (B) джерел. Багатокольоровий світлодіод має один закінчений корпус, подібний однокольоровому світлодіоду; зовнішній вигляд RGB світлодіоду зображено на рис. 4.7.

Світлодіодні чипи розміщують один біля одного і використовують спільну лінзу і відбивач. Оскільки напівпровідникові чипи мають кінцевий розмір і власні діаграми направленості, такі світлодіоди досить часто мають нерівномірні кутові кольорові характеристики.



Рис. 4.7. Зовнішній вигляд RGB світлодіода

Крім того, для отримання правильного співвідношення кольорів часто недостатньо встановити розрахунковий струм, оскільки світловіддача кожного чипу невідома і змінюється в процесі роботи. Для встановлення потрібних відтінків RGB світильники оснащують спеціальними регулюючими пристроями.

Спектр RGB світлодіода має яскраво виражену лінійчатую форму (рис. 4.8), оскільки є суперпозицією спектрів його напівпровідникових випромінювачів.

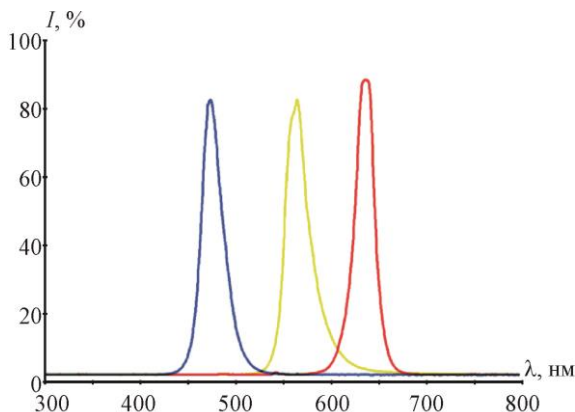


Рис. 4.8. Типовий спектр RGB світлодіода

Такий спектр відрізняється від спектра сонця, внаслідок чого індекс передачі кольору RGB світлодіода невисокий. RGB світлодіоди дозволяють легко і в широких межах керувати кольором випромінювання шляхом зміни струму кожного

світлодіода, що входить в «тріаду», регулювати кольоровий тон білого світла безпосередньо в процесі роботи аж до отримання окремих самостійних кольорів.

4.4. Колориметричні (спектральні) характеристики світлодіодів

Колориметрія – вимірювання й визначення колірних характеристик світлодіодів. Колориметричні параметри світлодіодів зазвичай виражені в координатах кольоровості або в довжинах хвиль. Колірне сприйняття людини залежить не тільки від фізичних властивостей світла, але і від навколишніх об'єктів, механічних властивостей випромінювача, фізіологічного відгуку очей спостерігача та його психологічного стану. Реакцію «стандартного спостерігача» на кольори різного спектру описали через tristimulus – три криві, названі X, Y і Z (рис. 4.7).

Система tristimulus базується на умові, що кожен колір - це комбінація трьох первинних кольорів: червоного, зеленого і синього.

Діаграма кольоровості (рис. 4.9) отримана із значень tristimulus таким чином:

$$X = X / (X + Y + Z) \text{ або} \\ X = \text{Червоний} / (\text{Червоний} + \text{Зелений} + \text{Синій});$$

$$Y = Y / (X + Y + Z) \text{ або} \\ Y = \text{Зелений} / (\text{Червоний} + \text{Зелений} + \text{Синій}).$$

Оскільки, $(X + Y + Z) = 1$, третя вісь $Z = 1 - (X + Y)$. Тому, зазвичай, координати кольоровості визначають тільки осями X і Y.

Колірна температура характеризує випромінювання абсолютно чорного тіла – твердого тіла, що перебуває в розпеченому стані. Її вимірюють в градусах Кельвіна (K). При підвищенні температури чорного тіла колір його світлового випромінювання змінюється таким чином: червоний – жовтогарячий – жовтий – білий – блакитний.

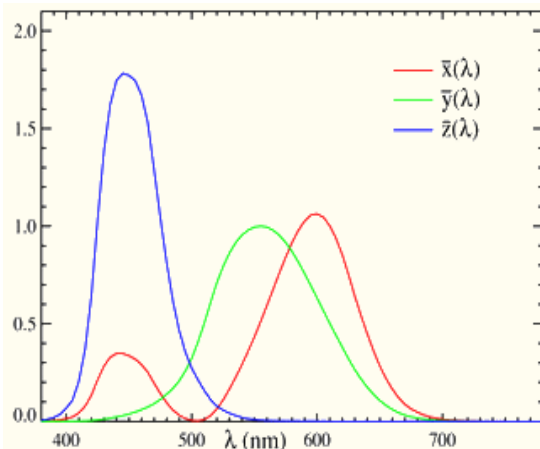


Рис. 4.9. Ординати кривих додавання кольоровості

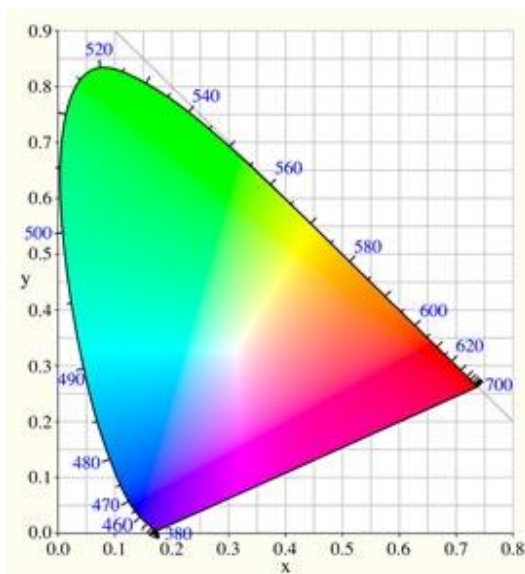


Рис. 4.10. Діаграма кольоровості (spectral tristimulus values)

Лампа розжарювання випромінює світло з колірною температурою близько 2700 К, яка відповідає червонуватій області колірного простору.

Спектральний аналіз видимого світла дозволяє визначити колірну температуру інших джерел світла, таких як люмінесцентні

лампи і світлодіоди. Фактична температура світлодіода, що випромінює світло з колірною температурою 2700 К, зазвичай дорівнює близько 80°C, хоча світлодіод випромінює світло того ж кольору, що і нитка, нагріта до температури 2700 К.

Багатокольорові світлодіоди мають залежність світловіддачі і кольору від температури за рахунок різних характеристик випромінюючих чипів, які входять до складу приладу, що призводить до незначної зміни кольору світла в процесі роботи. Термін служби багатокольорового світлодіоду визначають довговічністю напівпровідникових чипів, залежить від конструкції і зазвичай перевищує термін служби люмінофорних світлодіодів.

Багатокольорові світлодіоди переважно використовують для декоративного і архітектурного освітлення, в електронних табло і відеомоніторах.

4.5. Люмінофорні світлодіоди

Люмінофорні світлодіоди отримують в результаті комбінування синього або ультрафіолетового напівпровідникового випромінювача і люмінофору. Такі світлодіоди мають досить непогані характеристики і є відносно недорогими.

4.5.1. Конструкція люмінофорних світлодіодів. Найбільш розповсюджена конструкція люмінофорного світлодіоду містить синій напівпровідниковий чип нітриду галію, модифікований індієм (InGaN) і люмінофор з максимумом перевипромінювання в області жовтого світла – ітрій-алюмінієвий гранат, легований тривалентним церієм.

Зовнішній вигляд люмінофорного світлодіоду зображено на рис. 4.11.

Конструкція люмінофорного світлодіоду зображена на рис. 4.12.

Світлодіодний чіп 5 є найважливішою частиною люмінофорного світлодіоду.



Рис. 4.11. Зовнішній вигляд люмінофорного світлодіоду

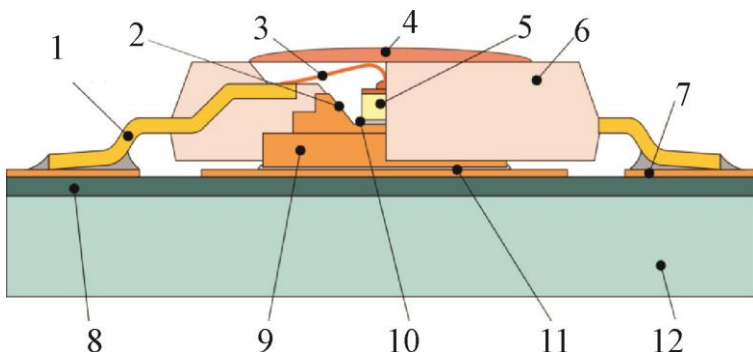


Рис. 4.12. Конструкція люмінофорного світлодіоду:

1 – виводи; 2 – відбивач; 3 – провідник; 4 – люмінофор; 5 – чип; 6 – корпус;
7 – друковані провідники; 8 – діелектрик; 9 – тепловідвід; 10 – клей; 11 – припій;
12 – МРСВ (друкована плата з високою теплопровідністю)

Напівпровідниковий матеріал, що використовують в складі світлодіодів, окрім здатності випромінювати світло з високою ефективністю, повинен мати гарну оптичну прозорість (для забезпечення вільного виходу квантів світла), мати високу електричну провідність (для зниження активних втрат при проходженні струму) та задовольняти багатьом критеріям технологічності у виробництві.

Шар люмінофору 4 або суміші люмінофорів підбирають ретельно. Окрім достатньо широкого спектру перевипромінювання активний матеріал і речовина, що відіграє роль носія, повинні

забезпечувати мінімальний рівень безвипромінювального поглинання. Особлива увага приділяється температурній стійкості і стабілізації при тривалій роботі. Спосіб нанесення люмінофору багато в чому визначає кольорові характеристики, в тому числі кутові характеристики кольору і яскравості.

Кристалотримач виконують із міді або іншого матеріалу, обробленого спеціальним чином для забезпечення гарних відбиваючих властивостей і максимальної теплопровідності. Сучасні конструкції світлодіодів дозволяють забезпечити низький тепловий опір, наприклад, за рахунок пайки на поверхню теплопровідного елемента корпусу світильника. Кристалотримач звичайно виконує і функцію відбивача світла, оскільки частина перевипроміненої енергії, а також частина розсіяного в шарі люмінофору світла повертається назад.

Форма і розміри відбивача 2, спільно з оптичною лінзою формують необхідну діаграму направленості світлодіоду. Для збільшення відбиваючої здатності, поверхня кристалотримача, відбивача і струмопровідних елементів має спеціальне покриття із різних матеріалів (срібло, алюміній).

Струмопровідні елементи 3 проводять струм до верхньої, направленої назовні, сторони напівпровідникового чипу. Такий провідник і спосіб його кріплення повинен, з однієї сторони, забезпечити гарний контакт і низький активний опір струму, а з іншої сторони, не повинен перешкоджати виходу світла.

Всі елементи конструкції світлодіоду піддаються тепловим навантаженням і повинні бути підібрані з урахуванням ступеня їх теплового розширення. Важливою умовою гарної конструкції є технологічність і низька вартість зборки світлодіодного пристрою і монтажу його в світильник.

4.5.2. Спектр випромінювання люмінофорного світлодіоду.

Частина потужності початкового випромінювання чипа розсіюється в шарі люмінофору, а інша частина поглинається люмінофором і перевипромінюється в області менших значень енергії. На рис. 4.13 зображено спектр випромінювання люмінофорного світлодіоду.

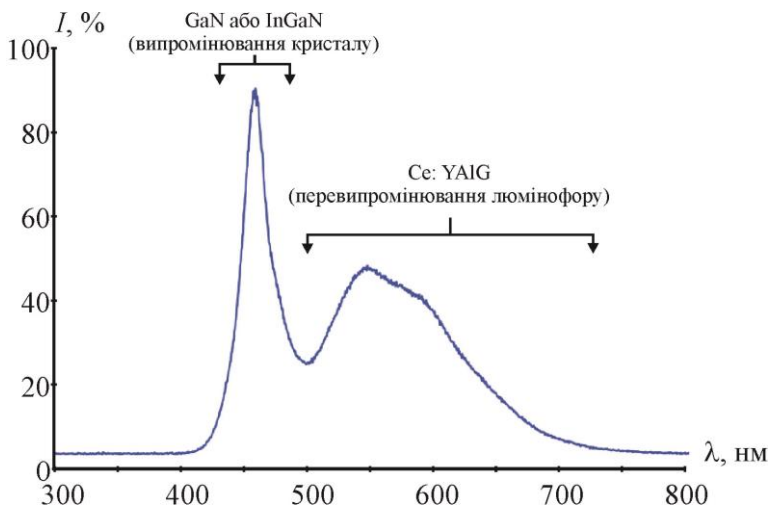


Рис. 4.13. Спектр випромінювання люмінофорного світлодіоду

Спектр перевипромінювання охоплює широку область від червоного до зеленого кольору, однак результуючий спектр має провал в області зеленого і синьо-зеленого кольору.

В залежності від складу люмінофору випускають світлодіоди з різною кольоровою температурою («теплі» і «холодні»). Шляхом комбінування різних типів люмінофорів досягають збільшення індексу передачі кольору, що дозволяє застосування світлодіодного освітлення в критичних до якості передачі кольору умовах.

4.5.3. Яскравість і якість світла люмінофорного світлодіоду.

Найважливішим параметром якості світлодіоду є його світловіддача, яка для сучасних люмінофорних світлодіодів становить 150...170 лм/Вт. Теоретична межа цієї технології оцінюється в 260...300 лм/Вт. При оцінці необхідно враховувати, що ефективність світильника на базі світлодіодів істотно нижча за рахунок ККД джерела живлення, оптичних властивостей розсіювача, відбивача і інших елементів конструкції. Крім того, виробники часто вказують початкову ефективність випромінювача при нормальній температурі, тоді як температура чипа в процесі роботи значно вища. Це призводить до того, що ефективність

випромінювача на 5...7 % нижча, а світильника – часто вдвічі нижча.

Другий не менш важливий параметр – якість світла. Для оцінки якості передачі кольору існує три параметри: колірна температура, індекс передачі кольору, якість світла.

Колірна температура (CCT) характеризує відтінок кольору, надається виробниками для вказування суб'єктивного сприйняття кольорового відтінку світла, що випромінюється джерелом, в порівнянні з абсолютно чорним тілом, нагрітим до вказаної температури в Кельвінах.

Індекс передачі кольору (CRI) характеризує повноту спектру випромінювання, здатність правильно передавати колір предметів в порівнянні з сонячним світлом. Визначають по стандарту дослідним шляхом при порівнянні кольору восьми еталонів, що освітлюються тестовим джерелом світла максимально наближеним до ідеального. Вважають, що джерело побутового освітлення повинно мати індекс передачі кольору не менший 80.

Якість світла. Колірна температура та індекс передачі кольору в багатьох випадках не можуть адекватно передати якість світла, що виробляється світлодіодами. Це в основному визначають особливостями спектру з різкими викидами і провалами. Деякі кольори, такі як глибокий червоний, не аналізуються по стандарту вимірювання CRI. Для більш повної оцінки якості світла приймаються нові методики, наприклад, засновані не на восьми, а на дев'яти еталонах (з додатковим дев'ятим еталоном червоного кольору).

4.5.4. Переваги і недоліки люмінофорних світлодіодів. До переваг люмінофорних світлодіодів потрібно зарахувати:

- високий ККД. Низьке питоме електроспоживання дозволяє застосовувати їх в тривало працюючих джерелах автономного і аварійного освітлення;

- висока надійність та тривалий термін служби, що дозволяє економити на заміні ламп та знизити витрати на обслуговування;

- малі вага та розмір приладів;

- відсутність ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання в спектрі;

- надійна робота при від'ємних температурах;

- безінерційність, тобто світлодіоди не вимагають часу на прогрів або вимкнення;
- висока механічна стійкість;
- простота регулювання потужності (як шпаруватістю імпульсів так і зміною струму живлення) для змінення колірності й яскравості;
- безпечність в експлуатації, пожегобезпечність;
- вологостійкість, стійкість до впливу агресивних середовищ;
- відсутність особливих вимог до утилізації.

Недоліки світлодіодів:

- висока вартість і складність виготовлення білих світлодіодів в порівнянні з аналогічними по світловому потоку лампами розжарювання. Проте їх ціна постійно знижується;
- невисока якість передачі кольору. Проте, вона постійно зростає;
- вимога надійної системи охолодження;
- принципова неможливість роботи при підвищених температурах оточуючого середовища (60...70 °С);
- для живлення світлодіодів необхідно застосовувати спеціальні складні джерела живлення – драйвери.

4.6. Світлодіодні лампи на філаментах

Створення світлодіодної лампи на філаментах (ФСЛ) диктувалося естетичними міркуваннями дизайну - розроблення їх конструкції зводилося до розміщення світлодіодів таким чином, щоб вони імітували нитки розжарення; в результаті утворився принципово новий різновид ламп (рис. 4.15).

У створених лампах світлодіоди розташували на вузькій лінійці всередині колби, лінійку, в свою чергу, з'єднали з теплоотводом поза колби.



Рис. 4.15. Зовнішній вигляд світлодіодних ламп на філаментах

Історія практичного застосування даного типу ламп для загального освітлення налічує близько 4 років. Спочатку світлодіодні лампи на філаментах випускали тільки для декоративних цілей, їх світловий потік був недостатній для загального освітлення. Прорив стався в 2013 році, коли кілька компаній представили потужні лампи на філаментах для загального освітлення, еквівалентні лампам розжарювання потужністю до 60 Вт.

Влаштування філаменту. В основі ФСЛ лежить технологія Chip-On-Glass (COG), раніше вже успішно випробувана при створенні дисплеїв для мобільних пристроїв. Вона полягає в розміщенні надмініатюрних світлодіодів на підкладці зі штучного сапфіра або, як більш дешевий варіант, із спеціального скла. Прозорість підкладки дозволяє створювати масиви світлодіодів, які світять у різні боки.

Типовий філамент – світлодіодний аналог нитки розжарювання – являє собою стрижень зі штучного сапфіра або скла діаметром 1,5 мм і довжиною 30 мм. На ньому за допомогою технології COG розміщено 28 синіх світлодіодів, які з'єднані послідовно. У деяких моделях філамент може містити кілька червоних світлодіодів для досягнення більш теплого відтінку, при цьому загальна кількість світлодіодів в філаменті також 28. Зверху все покрито шаром люмінофору на силіконовій основі.

Потужність одного філаменту становить 0,8-1,3 Вт. Набираючи потрібну кількість філаментів в колбі, можна отримати світлодіодну лампу необхідної потужності. Відомі моделі ФСЛ, що містять до 16 філаментів.

Важливою перевагою філаменту в порівнянні з традиційними світлодіодними матрицями є те, що для рівномірного розподілу світла в усі боки не потрібно використовувати складну оптичну систему, яка вносить великі втрати. Це забезпечує високий ККД лампи на філаментах. Потужність, що споживає філамент, у 1,5 рази вища, ніж традиційних світлодіодних матриць, за рівного світлового потоку. Зменшення потужності, що підводиться означає зниження тепловиділення.

До одного філаменту підводять напругу близько 100 В, тому ФСЛ випускають для безпосереднього підключення до освітлювальної мережі. ФСЛ випускають під європейські патрони E27 і E14, американські патрони E26 і E12, а також під патрони байонетного типу. Останні застосовують там, де є тряска і вібрації, наприклад, на кораблях.

Тепловідведення. Філаменти герметично запаєні в скляну колбу наповнену спеціальним газом, що володіє високою теплопровідністю (суміш газів на основі гелію). Саме через газ здійснюється відведення тепла від світлодіодів. Скляна колба з тонкими стінками добре проводить тепло, тому її використовують для тепловідводу. За твердженням виробників ФСЛ, така система відводу тепла є більш ефективною, ніж у світлодіодних ламп традиційної конструкції, у яких температура $p-n$ переходу не перевищує 60 °С.

Переваги ФЛС:

- повна сумісність зі світильниками, які від початку проектувалися під лампи розжарювання;
- висока світловіддача, обумовлена відсутністю оптичної системи;
- можливість зниження собівартості виробництва за рахунок використання наявних потужностей з виробництва ламп розжарювання;
- подолання психологічного бар'єру при використанні світлодіодного освітлення в побуті.

Недоліки ФЛС:

- мале місце під драйвер, внаслідок чого використовують драйвери спрощеної конструкції з високим коефіцієнтом пульсації;
- для ФСЛ використовуються скляні колби, які мають низьку механічну стійкість, на відміну від інших типів світлодіодних ламп;
- поки ФСЛ виробляють лише маловідомі компанії, що ускладнює вибір для споживачів.

Втім, нещодавно відома тайванська компанія EdisonOpto почала виробляти філаменти на основі штучного сапфіра.

З використанням більш довгих філаментів створені світлодіодні лампи T8.

Крім цього, серійно випускають ФСЛ для заміни рефлекторних ламп розжарювання.

Перераховані приклади показують, що поєднання технології COG і відведення тепла від світлодіодів за допомогою газу саме по собі виявилось дуже зручним у виробництві.

4.7. Вимоги до колірної температури

Колірна температура – це температура абсолютно чорного тіла, за якої воно випромінює такий же колірний тон, що і вимірюване випромінювання. Колірна температура – міра відносних кількостей червоного або синього випромінювання в спектрі; чим вищі колірні температури, тим більша складова синього кольору.

Шкала колірних температур світлових джерел наведена в табл. 4.4.

Таблиця 4.4. Шкала колірних температур світлових джерел

№ з/п	Джерело світла	Колірна температура, К
1	2	3
1	Світло від полум'я свічки	1500-2000
2	Натрієва лампа високого тиску	2000
3	Лампа розжарювання 40 Вт	2200
4	Лампа розжарювання 100 Вт	2800

Продовження табл. 4.4.

1	2	3
5	Лампа розжарювання 200 Вт, галогенна	3000
6	Сонце на обрії	3400
7	Місячне сяйво	4200
8	Ксенонова дугова лампа	4500-5000
9	Сонце опівдні	5000
10	Хмари в полудень	5500
11	Денне світло (лампа денного світла)	6500
12	Денне світло, з часткою блакитного неба	7500
13	Блакитне небо в морозну погоду	15000

Кольоропередача. Індекс передачі кольору Ra відповідає за природність кольору предмета в полі джерела світла (рис. 4.16).

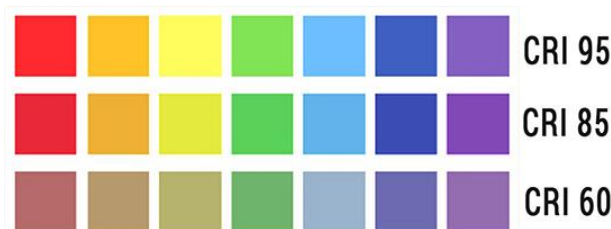


Рис. 4.16. Індекс передачі кольору Ra , що відповідає за природність кольору предмета в полі випромінювання джерела світла.

Еталоном індексу Ra є сонячне світло: $Ra = 100$. Світлодіодні лампи мають індекс 80-90 Ra . Лампа розжарювання має показник не менше 90 Ra . Індекс, що перевищує 80 Ra , є високим.

Для освітлення житлових приміщень частіш за все використовують випромінювачі теплого кольору (від 2700 К до 3000 К) і в деяких випадках нейтрального (від 3500 К до 4000 К). На рис. 4.17 зображено спектр випромінювання та три характерні види світлового свічення.



Рис. 4.17. Спектр випромінювання ламп в залежності від колірної температури

У світлодіодних світильниках білого світла колірну температуру можна *регулювати* під час роботи за допомогою контролерів освітлення.

4.8. Види цоколів світлодіодних ламп

Світлодіодні лампи, в залежності від їх призначення, виробляються із різними типами цоколів (табл. 4.5).

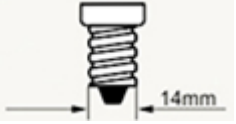

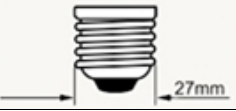

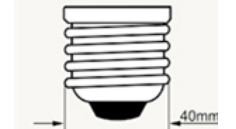

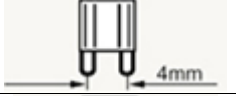



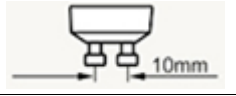

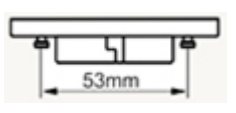

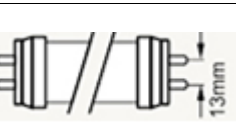
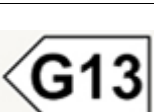
Основні різновиди цоколів світлодіодних ламп:

- стандартні цоколі з літерним позначенням «Е» вказують на різьбовий тип. Цифри означають діаметр цоколя, наприклад, Е27, Е14; вуличне освітлення має більший цоколь – Е40;

- роз'єм GU10 складається з 2 штирів з потовщенням на кінцях. Світлодіодна лампа з таким цоколем має поворотний тип кріплення в патроні. Літерне позначення роз'єму вказує, що G – штирьковий тип, U – наявність потовщення. Цифра позначає відстань між штирьками (10 мм). Світлодіодна лампа зі штирьковим роз'ємом призначена для стельових світильників з рефлектором;

- роз'єм GU5.3 має контактний тип з відстанню між елементами 5,3 мм;

Таблиця 4.5. Типи цоколів світлодіодних ламп

№ з/П	Схема	Позначення	Призначення
1			Традиційні цоколі ламп, поширені в побуті
2			
3			Цоколь застосовується в потужних лампах для освітлення великих приміщень і вулиць
4			Світлодіодні лампи з цоколями G4, GU5.3, GU10 призначені для заміни ламп розжарювання
5			
6			
7			Цоколі ламп, що використовуються в різних світильниках для стель і меблів
8			Цоколь, що обертається, використовується в трубчастих лампах T8

- цоколь G13 використовують в лінійних світлодіодних виробках у формі труби. Відстань між елементами 13 мм. Такі моделі трубчастої форми застосовують для заміни люмінесцентних джерел світла;

- цоколь GX53 має відстань між штировими елементами 53 мм. Світлодіодні лампи з таким роз'ємом застосовують в накладних і вбудованих світильниках для меблів і стелі.

4.9. Особливості використання світлодіодного освітлення у навчальних закладах

У навчальних закладах найбільшу частку електронавантаження становить освітлення, тому підвищення енергоефективності на таких об'єктах ускладнюється необхідністю вирішення двох антагоністичних завдань – з одного боку, забезпечення високої освітленості у навчальних приміщеннях (згідно СНіП 23-05-95 “Природне і штучне освітлення” рівень освітленості робочої поверхні має становити $E = 400$ лк), а з іншого – максимально можливе електроощадження.

Спеціалістами кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту Центральноукраїнського національного технічного університету були проведені дослідження оптимізації комбінованого освітлення при використанні ламп різних типів: ламп розжарювання, люмінесцентних і світлодіодних ламп.

Для аналізу рівня освітленості на робочій поверхні проводили вимірювання за допомогою люксометру *LX1010BS* в аудиторії площею 6х6 м, висотою у 3,1 м. В якості контрольного об'єкту обрано робочу поверхню парт (0,7 м від підлоги). На рис 4.16 зображені результати сумісних експериментальних досліджень розподілу освітленості робочої поверхні при використанні різних джерел світла.

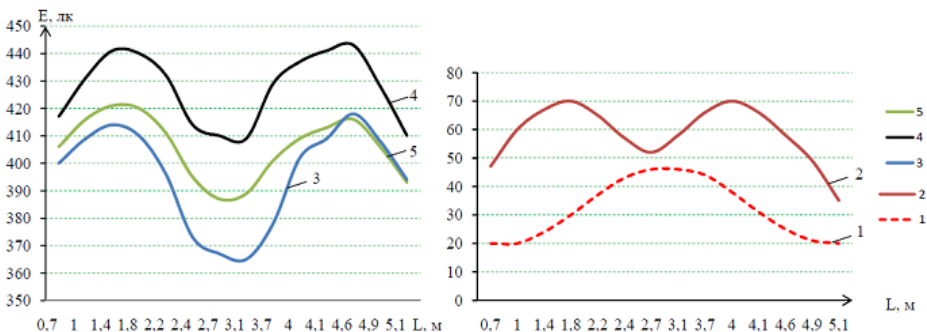


Рис. 4.18. Освітленість робочої поверхні парт при використанні різних типів ламп:

1 – лампи розжарювання (розташовані по центру в один ряд); 2 – лампи розжарювання, розташовані у два ряди; 3 – люмінесцентні лампи, розташовані у два ряди; 4 – комбіноване освітлення; 5 – світлодіодні лампи у два ряди.

Дослідження проводили при закритих жалюзях, освітленість при вимкнених лампах склала 8 лк. З рис. 4.18 видно, що освітленість від лампи розжарювання, розташованої по центру робочої поверхні має не тільки мале значення ($E_{\max 1} < 50$ лк), а і вкрай нерівномірне поле з розкидом освітленості $\Delta E_{\max 1}$ відносно середнього значення:

$$\Delta E_{\max 1} = 2 \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}} \cdot 100 \% = 78,8 \%$$

Розташування ламп розжарювання у два ряди дещо покращує ситуацію (рис. 4.18, крива 2), $\Delta E_{\max 2} = 32,1\%$, проте рівень освітленості залишається недостатнім ($E_{\max 2} \leq 70$ лк). Ситуація докорінно покращується при використанні люмінесцентних ламп, розташованих у два ряди (рис. 4.18 крива 3), при цьому середній рівень освітленості робочої поверхні має практично нормативне значення $E = 390$ лк. Нерівномірність освітленості $\Delta E_{\max 3} = 12,8 \%$ майже в двічі менша від $\Delta E_{\max 1}$, що пояснюється видовженою по координаті L геометрією люмінесцентних ламп з довжиною 1,2 м.

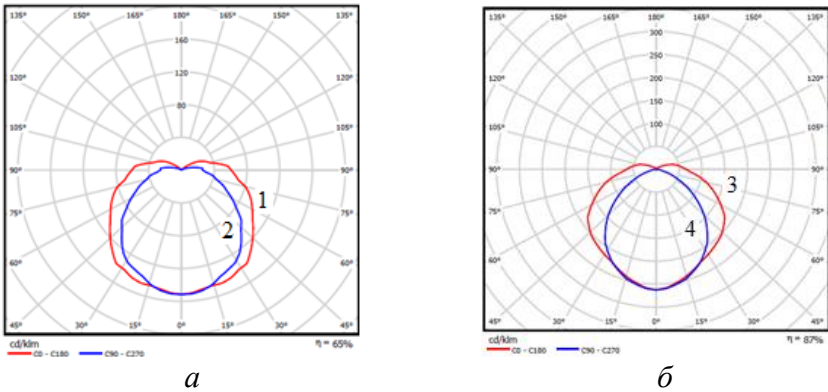


Рис. 4.19. Розподіл сили світла в залежності від кута падіння світлового потоку вздовж осі лампи (криві 1,3) та впоперек осі (криві 2,4):
 а – світильник з люмінесцентною лампою (ЛЛ);
 б – світильник з світлодіодною лампою (СДЛ).

Проте, недоліком люмінесцентного освітлення є мерехтіння світла з частотою 100 Гц.

Світлодіодні лампи аналогічної геометрії і довжини мають більш рівномірне поле $\Delta E_{\max 5} = 7,4\%$ (див. рис. 4.18, криву 5), що обумовлене наявністю лінз розсіювання, які формують кутову діаграму сили світла (рис. 4.19 б).

З рис.4.19 а,б видно, що кутові характеристики світлових потоків від ЛЛ та СДЛ схожі за конфігурацією, але сила світлового потоку світлодіодної лампи (130...260 кД) перевищує потік люмінесцентної лампи (80...155 кД) майже вдвічі. Особливістю СДЛ є і те, що її світловий конус є ширшим у порівнянні з ЛЛ.

Основним недоліком світлодіодних ламп є наявність у відбитому розсіяному світлі блакитної складової. Крім того, на сьогодні світлодіодні лампи на порядок дорожчі за люмінесцентні.

Втім, за результатами досліджень світлових спектрів світлодіодних ламп, виявлено значну складову в спектрі блакитних та ультрафіолетових хвиль (рис. 4.20 – 4.21), яка є небезпечною для сітківки ока, особливо молоді до 25 років. Тому, на сьогодні, не рекомендують застосовувати світлодіодні лампи в навчальних аудиторіях.

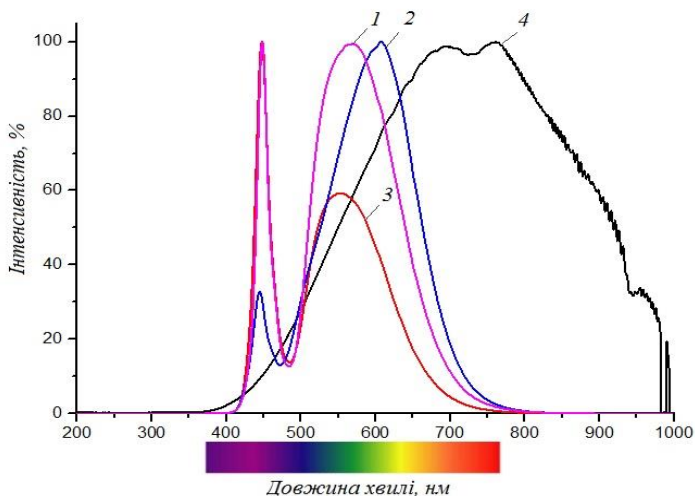


Рис. 4.20. Порівняння спектрів світлодіодних ламп та лампи розжарювання:

1 – світлодіодна лампа «SvetaLED», 2 – світлодіодна лампа «Оптоган», 3 – китайська LED лампа, 4 – лампа розжарення

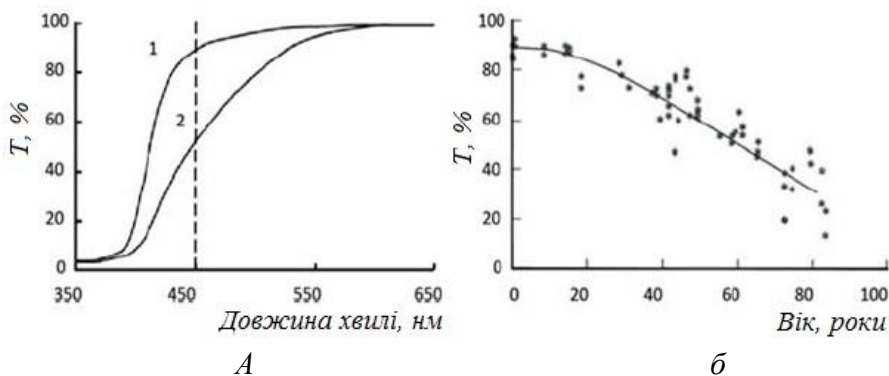


Рис. 4.21. Середньостатистичні спектральні та вікові залежності коефіцієнта проникнення кришталіка очей людей:

а – кришталік 5 – 15-річних та 45 – 55 – річних людей, вертикальна мітка акцентує різницю в проникненні між кришталіками дуже молодих (1) та дорослих (2) людей;

б – вікова залежність коефіцієнта проникнення кришталіків на довжині хвилі 440 нм

РОЗДІЛ 5

СВІТИЛЬНИКИ

5.1. Основні види світильників

Для раціонального освітлення приміщень або відкритих просторів необхідно розподілити світловий потік джерела світла цілком визначеним чином і направити його вниз або вгору. До того ж необхідно в одних випадках світловий потік розподілити рівномірно, а в інших - сконцентровано. Для такого перерозподілу світлового потоку застосовують освітлювальні прилади.

Джерела світла (лампи) та освітлювальна арматура являють собою *освітлювальні прилади*.

Світильник складається із корпусу, оптичної системи, лампотримачів (патронів), пускорегулюючих апаратів (ПРА), кріпильних пристроїв.

Оптична система (відбивачі) слугують для перерозподілу світлового потоку ламп згідно з законами відбиття світла. Відбивачі бувають матові або дзеркальні. В якості матеріалу для відбивачів застосовують сталь або алюміній.

Для захисту джерела світла від впливу оточуючого середовища застосовують захисне скло.

Для надійної роботи освітлювальної установки і її економічності велике значення має правильний вибір світильників.

Основними показниками, що визначають вибір світильників, є: конструктивне виконання; світлорозподіл; блискучість світильника; економічність.

При виборі конструктивного виконання і типу світильника потрібно враховувати умови оточуючого середовища, в якому будуть встановлені світильники. Якщо обраний світильник конструктивно не відповідає умовам оточуючого середовища, то це може призвести до його надмірного запилення, забруднення, внаслідок чого зменшиться світловий потік, що ним випромінюється та ін.

Неправильний вибір світильника по світлорозподілу призводить до неекономічного використання світлового потоку джерел світла, і зростанню встановленої потужності освітлювальної установки. При рівних умовах доцільніше обирати світильники з більш високим ККД, не дивлячись на їх більш високу вартість. Ці додаткові затрати швидко окупаються за рахунок економії електроенергії.

Захист від пилу, води і агресивних середовищ забезпечується, як правило, вибором відповідних конструкційних і світлотехнічних матеріалів, а також різним ступенем герметизації внутрішнього об'єму світильника і його окремих частин (електричних контактів).

Ступінь захисту електрообладнання від потрапляння всередину нього твердих тіл (в тому числі, пилу) позначається двома літерами *IP (International Protection)* і двома цифрами. В приміщеннях з нормальним середовищем, вологих, з обмеженою кількістю пилу, а також спекотних, застосовують світильники зі ступенем захисту *IP20*. В приміщеннях сирих, особливо сирих, з хімічно активним середовищем, запилених та спекотних застосовують світильники зі ступенем захисту *IP53, IP54, IP61*.

При виборі типів світильників для освітлення приміщень в залежності від технологічного процесу необхідно враховувати світлотехнічну класифікацію світильників (класи по світлорозподілу в просторі і форми кривої сили світла).

Світлорозподіл – важлива світлотехнічна характеристика світильника, що визначає розподіл його світлового потоку в просторі, що оточує світильник. Освітлювальні прилади, що використовують на відносно великих відстанях від освітлюваних об'єктів, в багато разів перевищуючих розміри самих приладів, характеризують розподілом сили світла – просторовою щільністю потоку.

Світлорозподіл світильників загального призначення обумовлюється формою фотометричного тіла світильника і описується кривими сили світла. При цьому під фотометричним тілом світлового приладу розуміється геометричне місце кінців радіусів-векторів, що виходять із світлового центру приладу, довжина яких пропорційна силі світла приладу у відповідному напрямку.

Кривою сили світла називається крива залежності сили світла світлового приладу від меридиальних і екваторіальних кутів, що отримується перерізом фотометричного тіла світлового приладу площиною.

Типові криві сили світла приведені на рис. 5.1.

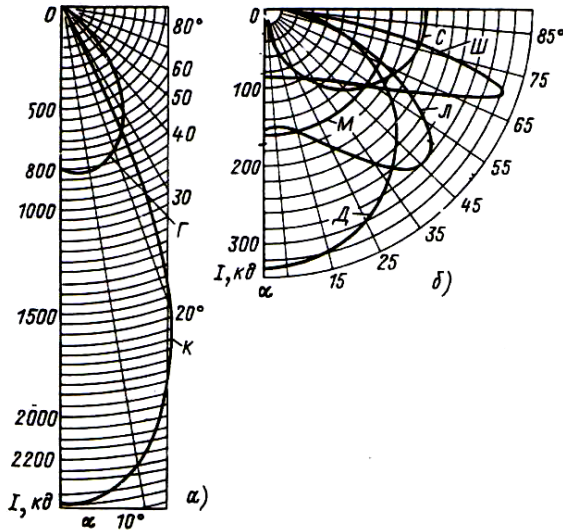


Рис. 5.1. Типові криві сили світла:

- а) – концентрована (К); глибока (Г);
 б) – косинусна (Д); напівширока (Л); рівномірна (М);
 синусна (С); широка (Ш)

За світлорозподілом світильники класифікуються наступним чином: П – прямого світла; Н – переважно прямого світла; Р – розсіяного світла; В – переважно відбитого світла; О – відбитого світла.

В залежності від форми кривої сили світла прийнята наступна класифікація світильників: К – концентрована; Г – глибока; Д – косинусна; Л – напівширока; Ш – широка; М – рівномірна; С – синусна.

Для освітлення горизонтальних робочих поверхонь у виробничих цехах і приміщеннях з низькими коефіцієнтами відбиття стін і стелі приймають світильники класу П з кривою сили

світла К при високих стелях, а зі зменшенням висоти стелі – світильники з кривими сили світла Г і Д. Світильники класів Н і Р з кривими Д і Л застосовують для освітлення адміністративних, учбових приміщень, лабораторій та ін. Світильники класів В і О застосовують в тих випадках, коли необхідно створити архітектурне освітлення приміщень в громадських будівлях, а світильники з кривою сили світла Ш – лише для освітлення зовнішніх територій.

На рис. 5.2 зображено зовнішній вигляд світильників для ламп розжарювання, призначених для освітлення промислових приміщень.



Рис. 5.2. Зовнішній вигляд світильників для ламп розжарювання
а – НСП 03-60; б – НСП 09-200; в – НСП 17.

На рис. 5.3 зображені криві сили світла світильника з лампою розжарювання НСП 17.

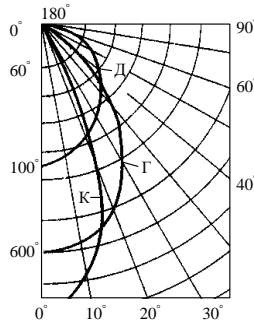


Рис. 5.3. Криві розподілу сили світла світильника НСП 17

На рис. 5.4. показано зовнішній вигляд світильника з лампою ДРЛ РСП 05, а також його криві сили світла.

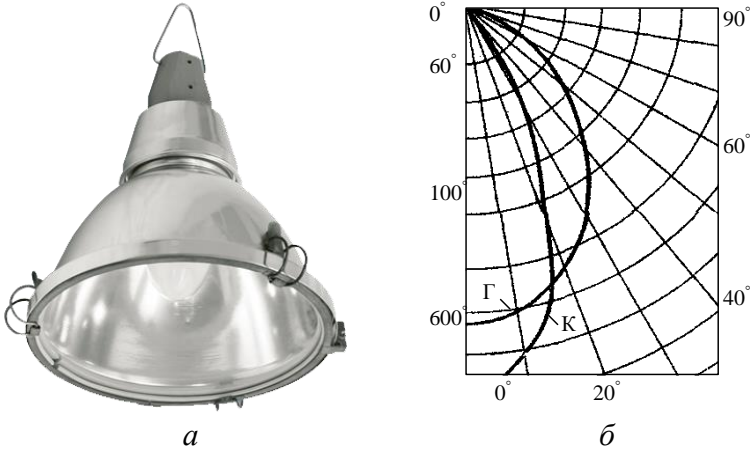


Рис. 5.4. Зовнішній вигляд світильника з лампою ДРЛ РСП 05, а також його криві сили світла:
 а – зовнішній вигляд світильника РСП 05;
 б – криві сили світла світильника РСП 05.

В цехах зі світлими стелями і стінами застосовують світильники класів Н і П з тими ж кривими сили світла в залежності від висоти стелі.

Вибір освітлювальних приладів за характеристиками блискучості проводиться на основі розрахунку показника засліпленості або показника дискомфорту. Засліплююча дія промислових освітлювальних установок регламентується показником засліпленості P . Розрахунок показника засліпленості досить трудомісткий, і для полегшення визначення P розроблено інженерний метод розрахунку [5].

Для загального освітлення промислових приміщень застосовують світильники з лампами розжарювання, газорозрядними лампами (ДРЛ, ДРИ і люмінесцентні лампи низького тиску (ЛЛ)). В залежності від технологічних операцій, що виконуються в приміщеннях, а також в залежності від умов

середовища в них застосовують світильники з відповідними світловими характеристиками і конструктивним виконанням.

Система позначень і маркування світильників виглядає наступним чином:

1 2 3 4 5 6 7 8

1 – тип джерела світла (одна літера на першому місці в шифрі):

Н – лампа розжарювання; И – галогенна лампа; С – лампи-світильники (дзеркальні або дифузні); Л – люмінесцентна лампа; Р – лампа ДРЛ; Г – металогалогенна лампа; Ж – натрієва лампа; Б – бактерицидна лампа; К – ксенонова лампа.

2 – основний спосіб установки світильника:

С – підвісні; П – для кріплення на стелі; Б – настінні; Н – настільні; Т – для кріплення на підлозі; В – вбудовані; К – консольні; Р – ручні.

3 – основне призначення світильника:

П – для промислових підприємств; Р – для рудників і шахт; О – для громадських будівель; Б – для житлових (побутових) приміщень; У – для зовнішнього освітлення; Т – для телевізійних студій.

4 – номер серії світильника (дві цифри).

5 – кількість ламп в світильнику.

6 – потужність ламп, Вт.

7 – номер модифікації світильника (тризначне число).

8 – позначення кліматичного виконання і категорії розміщення.

Приклади позначень світильників:

1. НСП05×500-016-У3 – світильник з лампою розжарювання потужністю 500 Вт, загального призначення, підвісний для промислових підприємств, серії 05, модифікації 016, кліматичне виконання У, категорія розміщення 3.

2. ЛСП02-2×40-005-У3 – світильник з двома люмінесцентними лампами потужністю по 40 Вт, підвісний, для громадських будівель, серії 02, модифікації 005, кліматичне виконання У, категорія розміщення 3.

3. РКУ08×400- 014-ХЛ1 – світильник з ртутною лампою типу ДРЛ потужністю 400 Вт, консольний, для зовнішнього

встановлення, серії 08, модифікації 014, кліматичне виконання ХЛ (холодний клімат), категорія розміщення 1.

5.2. Порівняння світлотехнічних характеристик світлодіодних світильників для модернізації вуличного освітлення

На ринку світлодіодних світильників присутня велика кількість пропозицій, технічні характеристики яких суттєво відрізняються. Тому, впровадженню енергоефективного освітлення на основі світлодіодів (СД) має передувати комплекс електротехнічних досліджень з порівнянням техніко-економічних характеристик зразків, а саме: вартості світильника, капітальних витрат на його встановлення, світлового потоку, потужності, коефіцієнту використання світлового потоку, гарантійного терміну експлуатації, вартості обслуговування тощо.

5.2.1. Загальна характеристика досліджуваних світильників «СЭС 3-45Л6» та «AMPERA Mini». Кафедрою електротехнічних систем та енергетичного менеджменту Центральноукраїнського національного технічного університету було проведено дослідження двох типів світильників: «СЭС 3-45Л6» виробництва ПАТ НВП "Радій" (зразок 1) та «Ampera Mini» концерну «Шредер» (зразок 2), зовнішній вигляд яких наведено на рис. 5.5.



а *б*
Рис. 5.5. Зовнішній вигляд світильників:
а – «СЭС 1-50Л8» виробництва ПАТ «НВП «Радій»
б – «Ampera Mini» концерну «Шредер»

Технічні характеристики наданих зразків за інформацією виробників наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1. Технічні характеристики світильників

№ з/п	Технічні характеристики	СЭС 1-50Л8 (зразок 1)	Ampere Mini (зразок 2)
1	2	3	4
1	Потужність, Вт	50	55
2	Ступінь захисту	IP 66	IP 66
3	Світловий потік, лм	3375...8775	6100
4	Колірна температура, К	2500... 7000	4250
5	Термін експлуатації	не менше 100 000 годин	не менше 60 000 годин
6	Матеріал корпусу	Сплав алюмінію, сталь	Сплав алюмінію
7	Система захисту від перенапруг	– (встановл. за замовленням)	+
8	Матеріал оптичного модулю	Скло	Скло
9	Система регулювання світлового потоку	– (встановл. за замовленням)	+
10	Гарантія, міс.	60	120
11	Робоча температура, °С	-40...+50	-40... +50
12	Клас світлорозподілу	II	дані відсутні
13	Пульсація світлового потоку	менше 1 %	менше 1 %
14	Коефіцієнт потужності	≥ 0,97	дані відсутні
15	Індекс передачі кольору (Ra)	≥ 75	дані відсутні
16	Напруга живлення, В / частота мережі, Гц	DC 155- 270В, AC 90- 305В/50 – 60 Гц	120 - 277В/ 50 – 60 Гц

Експертне оцінювання проводили шляхом проведення експериментальних приладних досліджень з використанням тепловізора FLIR I3, ІЧ-термометра, люксометрів, пульсометра, мультиметра DMK-32, фотоміра «Екотензор 03» та лазерного дальноміра.

Порівняння світильників проводили за наступними 7 критеріями: регулювання світлового потоку (наявність блоку керування); відповідність *IP*; ефективність тепловідведення; універсальність кріплення; ремонтпридатність електронного модуля; ремонтпридатність оптичного модуля; технологічність виробу.

З метою оцінювання якості та конструктивних особливостей вуличних світильників було опитано 10 незалежних експертів, яким було запропоновано оцінити якість світильників за 8 критеріями за 4-бальною системою (1 – незадовільно, 2 – задовільно, 3 – добре, 4 – дуже добре).

Результати статистичного оброблення думок експертів наведені в табл 5.2.

Таблиця 5.2. Середня оцінка обстеження світильників та показники узгодженості думок експертів

№ з/п	Найменування критерію	«СЭС 1-50Л8»	«Ampera Mini»	Коеф. конкордації, <i>W</i>	Коефіцієнт Пірсона $\chi^2_{\text{розр}}$
1	Регулювання світлового потоку (наявність блоку керування)	3,5	4,0	0,3231	23,41
2	Відповідність <i>IP</i>	4,0	4,0	0,9209	36,05
3	Ефективність тепловідведення	4,0	3,2	0,6294	26,47
4	Універсальність кріплення	3,9	3,9	0,9566	27,83
5	Ремонтпридатність електронного модуля	4,0	4,0	0,9824	46,12
6	Ремонтпридатність оптичного модуля	1,9	1,9	0,8573	27,86
7	Технологічність виробу	3,8	3,9	0,6878	32,50
Загальна кількість балів		25,1	24,9		

Результати статистичної обробки, що наведені в табл. 5.2 підтвердили наявність узгодженості думок експертів, оскільки $\chi_{\text{розра}}^2 > \chi_{\text{кр}}^2$ ($\chi_{\text{кр}}^2 = 11,07$ для 5 % рівня значимості та кількості ступенів свободи $\gamma = k - 1 = 7$).

5.2.2. Дослідження температурних режимів світильників.

Оскільки температурний режим впливає на довговічність та якість роботи СД, проведено порівняння відповідності робочих температур нормативним значенням. Перевірку температурного режиму виконували за допомогою тепловізора Flir I3 та ІЧ-термометра. Під час перевірки, за температури навколишнього середовища 18,7°C, проводили вимірювання усталеної температури зразків для трьох випадків:

1. Корпус з тильного боку.
2. Корпус зі сторони світло діодів.
3. Світлодіоди без скляного розсіювача (без скла).

Результати тепловізорного контролю наведені на рис. 5.6 – 5.11.

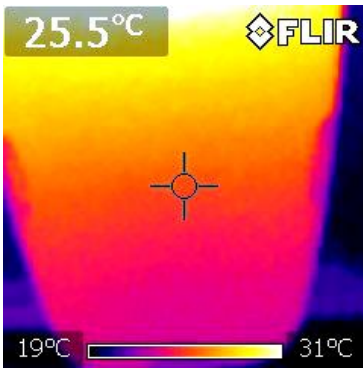


Рис. 5.6. Термограма із тильного боку корпусу світильника СЭС 1-50Л8

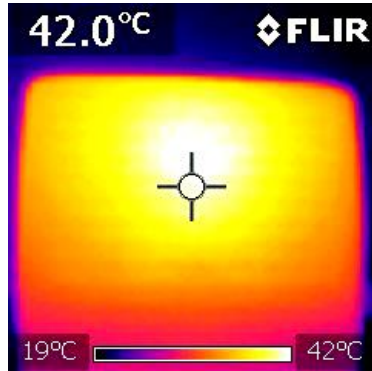


Рис. 5.7. Термограма із тильного боку корпусу світильника Ampere Mini в місці розташування СД

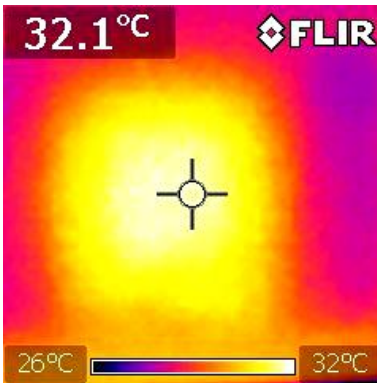


Рис. 5.8. Термограма світильника СЭС 1-50Л8 із сторони світлодіодів

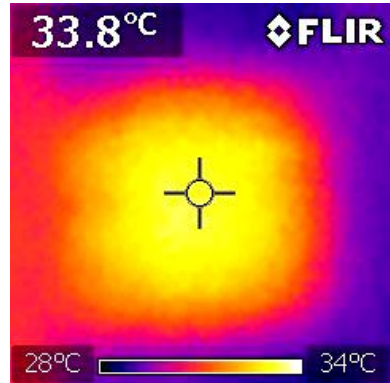


Рис. 5.9. Термограма із сторони світлодіодів світильника Ампера Mini

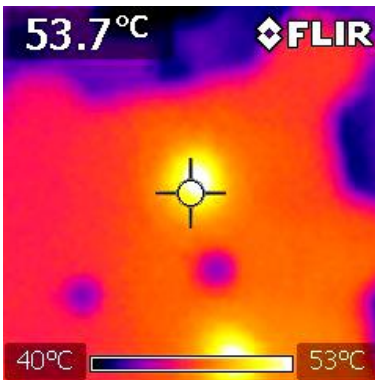


Рис. 5.10. Термограма світлодіоду світильника Ампера Mini

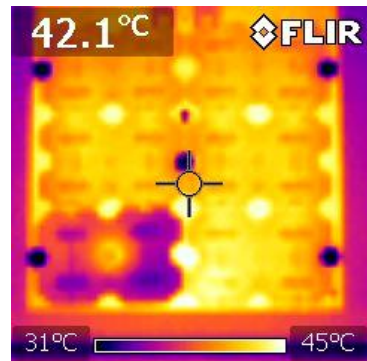


Рис. 5.11. Термограма світильника СЭС 1-50Л8 із сторони світлодіодів при знятому розсіювачі

Аналіз термограм показав, що світильники, під час роботи нагріваються приблизно до однакових температур (42°C – для світильника Ампера Mini та 34°C – для світильника СЭС 1-50Л8), які не перевищують заявлених в технічній документації значень.

Температури світлодіодів, які є основними джерелами тепла, відрізняються між собою менше, ніж на 2 %.

Але, зважаючи на конструкцію та компоновку охолоджуючих систем електронних компонентів світильників, на думку експертів, тепловіддача до навколишнього середовища світильника Ampera Mini, може бути гіршою, ніж у світильника СЭС 1-50Л8.

5.2.3. Дослідження електричних параметрів світильників.

Для визначення реальних електричних параметрів світильників використовували аналізатор параметрів мережі мультиметр ДМК-32 фірми «Lovato». В процесі дослідження проводили вимірювання наступних електричних параметрів:

- 1) напруга живлення на контактах світильника;
- 2) робочий струм;
- 3) напруга живлення мережі, В;
- 4) активна потужність світильника, кВт,
- 5) коефіцієнт потужності світильника $\cos\phi$, відн. од.;
- 6) коефіцієнт несинусоїдальності, THD, % .

Дослідження електричних параметрів світильників проводили впродовж 5 хвилин (з 5 секундним інтервалом усереднення). Для моніторингу процесу вимірювання мультиметр ДМК-32 під'єднували до персонального комп'ютера через цифровий інтерфейс RS-232. Для візуального відображення контрольних параметрів використовували спеціалізований програмний продукт ДМК Soft. Результати вимірювань наведено в табл. 5.3.

Аналіз електричних параметрів світильників показав, що в процесі роботи потужність, що споживається світильниками є стабільною.

Світильник «СЭС 1-50Л8» має кращі енергетичні показники, а саме:

- на 22,4 % менше значення споживаної активної потужності;
 - більше значення коефіцієнту активної потужності ($\cos\phi$);
- на 4,54 % менший рівень спотворення синусоїдальності кривої струму (THD).

Таблиця 5.3. Результати експериментальних досліджень електричних параметрів світильників «Ampera Mini» та «СЭС 1-50Л8»

Період вимірювання	Світильник Ampera Mini фірми "Schréder"					Період вимірювання	Світильник СЭС 1-50Л8 фірми "Радій"				
	Напруга мережі, $U, В$	Струм, $I, А$	Споживана потужн., $P, Вт$	$\cos\phi$	ТНД, %		Напруга мережі, $U, В$	Струм, $I, А$	Споживана потужн., $P, Вт$	$\cos\phi$	ТНД, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14:15:29	228	0,25	56,2	0,98	19	14:06:21	225	0,22	50	1,00	13
14:15:36	228	0,25	56,2	0,98	17	14:06:28	225	0,22	50	1,00	14
14:15:42	228	0,25	56,2	0,98	19	14:06:34	225	0,22	50	1,00	13
14:15:48	229	0,25	56,2	0,98	18	14:06:41	225	0,22	50	1,00	13
14:15:55	229	0,25	56,2	0,98	19	14:06:47	225	0,22	50	1,00	14
14:16:01	228	0,25	56,2	0,98	19	14:06:53	225	0,22	50	1,00	12
14:16:07	228	0,25	56,2	0,98	19	14:06:59	224	0,22	50	1,00	12
14:16:14	228	0,25	56,2	0,98	19	14:07:06	224	0,22	50	1,00	14
14:16:20	228	0,25	56,2	0,98	19	14:07:12	224	0,22	50	1,00	12
14:16:26	228	0,25	56,2	0,98	19	14:07:18	224	0,22	50	1,00	13
14:16:32	228	0,25	56,2	0,98	19	14:07:25	224	0,22	50	1,00	14
14:16:38	227	0,25	56,2	0,98	19	14:07:31	224	0,22	50	1,00	13
14:16:44	228	0,25	56,2	0,98	19	14:07:37	224	0,22	50	1,00	13
14:16:50	228	0,25	56,2	0,98	19	14:07:43	224	0,22	50	1,00	14
14:16:56	228	0,25	56,2	0,98	19	14:07:50	224	0,22	50	1,00	13
14:17:02	228	0,25	56,2	0,98	19	14:07:56	224	0,22	50	1,00	13
14:17:09	228	0,25	56,2	0,98	19	14:08:02	224	0,22	50	1,00	13
14:17:15	228	0,25	56,2	0,98	19	14:08:09	224	0,22	50	1,00	13
14:17:22	228	0,25	56,2	0,98	19	14:08:15	224	0,22	50	1,00	13
14:17:29	228	0,25	56,2	0,98	19	14:08:21	224	0,22	50	1,00	13

Продовження табл. 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14:17:35	228	0,25	56,2	0,98	19	14:08:28	224	0,22	50	1,00	13
14:17:41	228	0,25	56,2	0,98	19	14:08:34	224	0,22	50	1,00	13
14:17:48	228	0,25	56,2	0,98	19	14:08:40	224	0,22	50	1,00	12
14:17:54	228	0,25	56,2	0,97	19	14:08:47	225	0,22	50	1,00	14
14:18:00	228	0,25	56,2	0,98	19	14:08:53	225	0,22	50	1,00	13
14:18:07	228	0,25	56,2	0,98	19	14:08:59	225	0,22	50	1,00	14
14:18:13	229	0,25	56,2	0,97	19	14:09:05	225	0,22	50	1,00	13
14:18:19	228	0,25	56,2	0,98	19	14:09:12	224	0,22	50	1,00	14
14:18:26	228	0,25	56,2	0,98	18	14:09:18	225	0,22	50	1,00	13
14:18:32	228	0,25	56,2	0,98	19	14:09:24	225	0,22	50	1,00	14
14:18:38	228	0,25	56,2	0,98	19	14:09:31	225	0,22	50	1,00	14
14:18:45	229	0,25	56,2	0,97	19	14:09:37	224	0,22	50	1,00	14
14:18:51	228	0,25	56,2	0,97	19	14:09:43	224	0,22	50	1,00	14
14:18:57	229	0,25	56,2	0,97	19	14:09:50	224	0,22	50	1,00	14
14:19:03	230	0,25	56,2	0,97	19	14:09:56	224	0,22	50	1,00	14
14:19:10	230	0,25	56,2	0,97	19	14:10:02	224	0,22	50	1,00	14
14:19:16	230	0,25	56,2	0,97	19	14:10:09	224	0,22	50	1,00	13
14:19:22	230	0,25	56,2	0,97	19	14:10:15	224	0,22	50	1,00	14
14:19:29	230	0,25	56,2	0,97	17	14:10:21	225	0,22	50	1,00	14
14:19:35	230	0,25	56,2	0,97	19	14:10:27	224	0,22	50	1,00	14
14:19:41	230	0,25	56,2	0,97	19	14:10:34	224	0,22	50	1,00	13
14:19:48	231	0,25	56,2	0,97	19	14:10:40	224	0,22	50	1,00	14
14:19:54	231	0,25	56,2	0,97	19	14:10:46	224	0,22	50	1,00	13
14:20:01	231	0,25	56,2	0,97	18	14:10:53	224	0,22	50	1,00	13
14:20:07	230	0,25	56,2	0,97	19	14:10:59	224	0,22	50	1,00	14
14:20:13	230	0,25	56,2	0,97	19	14:11:06	225	0,22	50	1,00	14
14:20:20	231	0,25	56,2	0,96	17	14:11:12	225	0,22	50	1,00	13
14:20:26	231	0,25	56,2	0,97	19	14:11:19	225	0,22	50	1,00	13
14:20:33	230	0,25	56,2	0,97	19	14:11:25	225	0,22	50	1,00	13

Продовження табл. 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14:20:26	231	0,25	56,2	0,97	19	14:11:19	225	0,22	50	1,00	13
14:20:33	230	0,25	56,2	0,97	19	14:11:25	225	0,22	50	1,00	13
14:20:39	230	0,25	56,2	0,97	19	14:11:32	225	0,22	50	0,99	14
14:20:46	230	0,25	56,2	0,97	19	14:11:38	224	0,22	50	1,00	13
14:20:52	230	0,25	56,2	0,97	19	14:11:45	224	0,22	50	1,00	14
Всього за період вимірювання											
Мін. зн.	227	0,25	56,2	0,96	17		223	0,22	50	0,99	12
Макс. зн.	231	0,25	56,2	0,98	19		226	0,22	50	1	14
Сер. зн.	228,9	0,25	56,2	0,98	18,8		224,1	0,22	50	0,999	13,35

5.2.4. Дослідження світлотехнічних характеристик світильників. Згідно до вимог ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення. Освітлення вулиць, доріг і площ з регулярним транспортним рухом у міських поселеннях» необхідно проектувати освітлення виходячи з норм середньої яскравості удосконалених покриттів у відповідності до показників, наведених у табл. 5.4.

На вулицях категорій *A* і *B* установки зовнішнього освітлення усіх видів не повинні створювати на вікнах житлових будинків вертикальну освітленість, яка перевищуватиме:

- 7 лк за норми середньої яскравості проїзної частини 0,4 кд / м²;

- 10 лк при нормі 0,6 - 1,0 кд / м²;

- 20 лк при нормі 1,2-1,6 кд / м²

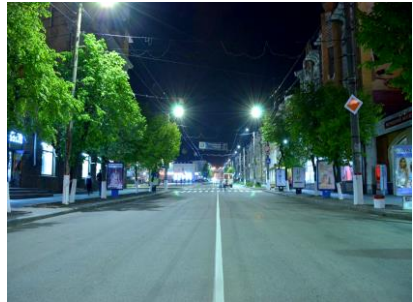
Світильники «Ампера Міні» та «СЭС 1-50Л8» були встановлені на певних ділянках вулиці (див. фото на рис. 5.12). Виявлено, що досліджувані ділянки з світильниками «Ампера Міні» мають більш рівномірне освітлення проїзної частини дороги (див. фото на рис. 5.12 б); натомість, світильники «СЭС 1-50Л8» створюють більш контрастне освітлення проїзної частини (див. фото на рис. 5.12 а). Це, насамперед, пов'язано із місцем установки світильників у даному конкретному випадку та наявності додаткового рівня освітленості від інших джерел світла.

Таблиця 5.4. Норми усередненого значення яскравості

Категорія об'єкту за освітленням	Вулиці, дороги та площі	Найбільша інтенсивність руху в обох напрямках, одиниць/год	Середня яскравість покриття, кд/м ²	Середня горизонт. освітленість покриття, лк
A1	Магістральні дороги, вулиці загально-міського значення	Понад 5000	2,0	20
A2		Від 3000 до 5000	1,5	20
A3		Від 1000 до 3000	1,2	20
A4		Від 500 до 1000	0,8	15
A5		Менш 500	0,6	10
B1	Магістральні вулиці районного значення	Понад 2000	1,0	15
B2		Від 1000 до 2000	0,8	15
B3		Від 500 до 1000	0,6	10
B4		Менш 500	0,4	10
V1	Вулиці і дороги місцевого значення	500 і більше	0,4	6
V2		Менш 500	0,3	4
V3		Поодинокі автомобілі	0,2	4



а



б

Рис. 5.12. Ділянка вулиці освітлена ліхтарями з лампами:

а – зразка 1 з двох боків;

б – зразка 2 з одного боку вулиці

Для виявлення реальних значень розподілу рівня освітленості було проведено лабораторні дослідження нерівномірності

освітленості, за однакових умов, вздовж та уперек досліджуваної ділянки розмірами (13x7) м.

Для обох типів світильників було проведено заміри рівня освітленості поверхні в контрольних точках (рис. 5.17).

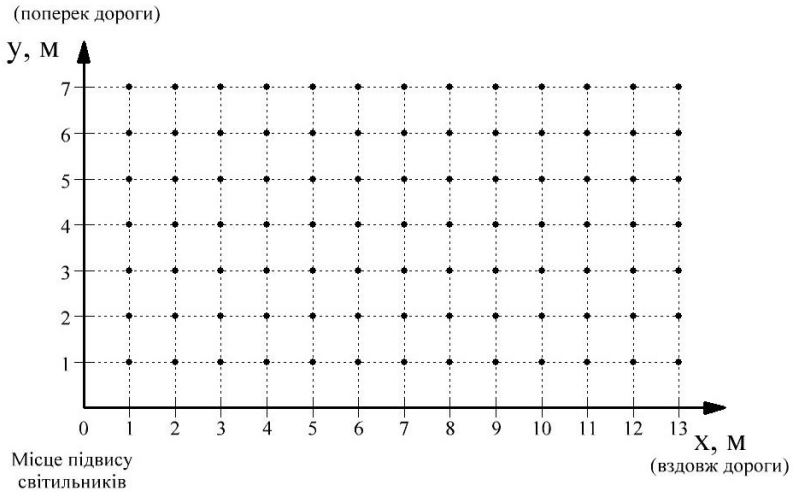


Рис. 5.13. Схематичне зображення поверхні із зазначенням контрольних точок, в яких проводились заміри рівня освітленості

Висота підвісу світильників складала 12 м. Матеріал поверхні – асфальт. Для усунення впливу сторонніх факторів на результати експериментальних досліджень (таких як природне освітлення, освітлення від інших джерел світла) заміри рівня освітленості проводились в темну пору доби за відсутності інших джерел світла, окрім досліджуваних.

Згідно табл. 5.4 середня горизонтальна освітленість для вулиць з категорією А4 або В3 повинна складати не менше 10 лк.

В таблиці 5.5 наведені результати вимірювання розподілу освітленості на поверхні об'єкту. Для вимірювання освітленості використовували фотомір «Екотензор 03».

Як видно з табл. 5.5, рівень освітленості поверхні світильником «СЭС 1-50Л8» виявився більшим, ніж світильником «Амрега Міні»; різниця значень освітленості в контрольних точках – від 2,8

до 36,4 %, що підтверджує кращу енергетичну ефективність світильника «СЭС 1-50Л8».

Таблиця 5.5. Експериментальні дані вимірювання освітленості поверхні

Відстань від місця встановл. світильн. (X=0;Y=0), м	Освітленість поверхні світильником, лк				Різниця, %	
	Ampera Mini		СЭС 1-50Л8			
	вздовж	поперек	вздовж	поперек	вздовж	поперек
1	17,5	17,3	18,0	18,4	+2,8	+6,0
2	13,3	16,3	14,5	17,4	+8,3	+6,3
3	12,6	15,5	13,9	16,7	+9,4	+7,2
4	11,7	15,4	13,3	16,2	+12,0	+4,9
5	10,7	13,8	12,5	15,2	+14,4	+9,2
6	9,7	12,3	11,7	13,3	+17,1	+7,5
7	8,7	10,6	10,9	12,1	+20,2	+12,4
8	7,4		10,0		+25,8	
9	6,5		9,21		+29,1	
10	5,7		8,36		+32,2	
11	4,6		7,19		+36,4	
12	3,9		6,03		+34,0	
13	3,3		3,96		+17,2	

Рівномірність освітленості поверхні обома типами світильників є приблизно однаковою. Слід зазначити, що рівень освітленості поверхні в найбільшій мірі залежить від висоти підвісу та від кривої світла світильника. Освітленість поверхні світильниками «СЭС 1-50Л8» і «Ampera Mini» задовольняють вимогам ДБН В.2.5-28-2006.

Отже, в результаті проведених досліджень із порівняння зразків СД світильників «Ampera Mini» (виробник «Schröder») та «СЭС 1-50Л8» (виробник ПАТ «Радій») встановлено наступне:

1. Світильник «СЭС 1-50Л8» має кращі енергетичні показники, а саме:

- на 22,4 % менше значення споживаної активної потужності;
- вищий коефіцієнт активної потужності ($\cos \varphi$);
- на 4,54 % менший рівень спотворення синусоїдальності струму (THD).

2. Світильник типу «Аmpera Mini» має певні переваги, а саме:

- можливість регулювання світлового потоку в залежності від часу доби, що покращує їх енергетичні характеристики та збільшує термін служби світильника;

3. Аналіз температурних режимів світильників показав, що конструкція обох типів світильників забезпечує достатній рівень тепловідведення (у номінальних режимах роботи температури світильників не перевищують заявлені в технічній документації значення).

4. За однакових умов, рівень освітленості поверхні світильником «СЭС 1-50Л8» виявився більшим, ніж світильником «Аmpera Mini» – різниця освітленості складає від 2,8 до 36,4 % залежно від координат точки заміру. Рівні освітленості поверхні світильниками «СЭС 1-50Л8» і «Аmpera Mini» задовольняють вимогам ДБН В.2.5-28-2006.

РОЗДІЛ 6

СИСТЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

6.1. Системи освітлення

За способами розміщення світильників у виробничих приміщеннях розрізняють системи загального, місцевого і комбінованого освітлення.

Система загального освітлення застосовують для освітлення всього приміщення, в тому числі і робочих поверхонь. Загальне освітлення може бути рівномірним і локалізованим. Світильники загального освітлення розміщують лише в верхній зоні приміщення і кріплять їх на будівельних основах будівлі безпосередньо до стелі, на фермах, на стінах, колонах або на технологічному виробничому обладнанні.

При рівномірному освітленні створюється більш менш рівномірна освітленість по всій площі приміщення. Освітлення з рівномірним розміщенням світильників застосовують, коли у виробничих приміщеннях технологічне обладнання розміщено рівномірно по всій площі з однаковими умовами зорової роботи, або коли необхідно в приміщеннях громадського або адміністративного призначення забезпечити рівномірне освітлення.

Загальне локалізоване освітлення передбачається в приміщеннях, в яких на різних ділянках виконуються роботи, що вимагають різної освітленості, коли робочі місця в приміщенні зосереджені групами, а також при необхідності створення певного напрямку світла для груп робочих місць.

Переваги локалізованого освітлення перед загальним рівномірним полягають в скороченні встановленої потужності освітлювальних установок, можливості створити необхідний напрямок світлового потоку і уникнути на робочих місцях тіней від обладнання і самих робочих.

Місьцеве освітлення передбачається на окремих робочих місцях (станках, верстаках, столах і т.д.) і виконують світильниками, що встановлюються безпосередньо біля робочих місць.

Встановлення в приміщеннях лише місцевого освітлення діючими нормами заборонене. Місцеве ремонтне освітлення виконують ручними світильниками які приєднуються через знижувальний трансформатор на безпечній напрузі (12, 24, 36, 42 В) в залежності від категорії приміщення у відношенні безпеки обслуговуючого персоналу.

Системи місцевого і загального освітлення, що застосовують сумісно, утворюють систему *комбінованого освітлення*. Її застосовують в приміщеннях з точними зоровими роботами, що вимагають високої освітленості. При такій системі світильники місцевого освітлення створюють освітленість лише робочих місць, а світильники загального освітлення створюють освітленість в усьому приміщенні, головним чином в проходах і коридорах.

Система комбінованого освітлення зменшує встановлену потужність світильників і витрату електроенергії, оскільки лампи місцевого освітлення вмикаються лише на час виконання робіт безпосередньо на робочому місці.

6.2. Види освітлення

Для освітлення приміщень застосовують наступні види електричного освітлення: робоче, аварійне, охоронне і чергове.

Робоче освітлення потрібно передбачувати для всіх приміщень будівель, а також ділянок відкритих просторів, призначених для роботи, проходу людей і руху транспорту.

Аварійне освітлення поділяється на освітлення безпеки і евакуаційне.

Аварійне освітлення безпеки встановлюється там, де при раптовому відключенні робочого освітлення можливе виникнення пожежі або вибуху, масового травматизму, тривалого порушення технологічного процесу і т.д., а також порушення роботи відповідальних об'єктів (електростанцій, вузлів радіопередачі, водопостачання, тепlopостачання і т.д.). Це освітлення повинно створювати на поверхнях, що вимагають обслуговування, освітленість 5 % від нормованої для робочого освітлення при системі загального освітлення, але не менше 2 лк.

Евакуаційне освітлення слугує для безпечної евакуації людей із приміщень при аварійному зникненні робочого освітлення. Евакуаційне освітлення повинно забезпечувати освітленість основних проходів не менш, як 0,5 лк.

Для аварійного освітлення можуть застосовуватись лише лампи розжарювання або люмінесцентні. Розрядні ртутні лампи ДРЛ і металогалогенні ДРИ для створення аварійного освітлення не застосовують.

Світильники аварійного освітлення безпеки і евакуаційного освітлення приєднуються окремими лініями до незалежного джерела живлення або перемикаються на нього автоматично при раптовому відключення робочого освітлення. Крім цього, ці світильники повинні відрізнитись від світильників робочого освітлення спеціально нанесеними позначками.

В неробочий час в багатьох приміщеннях і вздовж границь території підприємства необхідне мінімальне штучне освітлення для несення чергування охоронних органів. З цією метою застосовують *охоронне освітлення*, яке повинно створювати освітленість 0,5 лк на рівні землі в горизонтальній площині.

6.3. Рекомендації щодо вибору джерел світла

При виборі джерел світла рекомендується керуватись наступними вказівками.

Газорозрядні лампи повинні застосовуватись:

- для загального освітлення в системі комбінованого освітлення;
- для освітлення приміщень громадських і адміністративних будівель, окрім допоміжних приміщень;
- для місцевого освітлення;
- для аварійного освітлення (люмінесцентні лампи);
- ртутні лампи ДРЛ для аварійного освітлення заборонені з причини тривалого їх запалювання.

Лампи розжарювання завдяки невисокій вартості, простоті обслуговування, незначними розмірами і незалежності їх роботи від умов зовнішнього середовища є джерелами світла масового

застосування, хоча ККД і світлова віддача у них значно нижчі, ніж у люмінесцентних.

Лампи розжарювання використовують для освітлення:

- промислових приміщень, в яких виконуються роботи, що вимагають низького або середнього рівня освітленості;
- промислових приміщень, де виконуються грубі види робіт;
- приміщень з особливо важкими умовами середовищ;
- допоміжних приміщень без постійного перебування людей в них;
- аварійного освітлення.

Для успішного проведення багатьох зорових робіт джерела світла повинні забезпечувати гарне світлокольорове середовище.

Зорові роботи в промислових приміщеннях класифікуються по двом ознакам – рівню вимог до передачі та розрізнення кольору і рівню вимог до точності зорової задачі, що досягають через нормовану освітленість.

Люмінесцентні лампи рекомендується застосовувати:

- в громадських, адміністративно-побутових і лабораторних приміщеннях;
- в низьких виробничих приміщеннях.

При роботі з кольоровими об'єктами, де проводиться контроль за кольором і необхідна дуже висока передача і розрізнення кольору, необхідно застосовувати лампи типів ЛДЦ, ЛЕЦ або ЛХЕ, а при більш низьких вимогах до вказаних параметрів – вузько смугові лампи типу ЛБЦТ.

Ртутні лампи високого тиску застосовують:

- при відсутності вимог до розрізнення і передачі кольору;
- для освітлення промислових приміщення, наприклад заготівельних, ливарних, штамповочних, ремонтно-механічних цехів, складів, компресорних і т.д.

Металогалогенні лампи ДРИ потужністю 250 Вт і вище рекомендується застосовувати в основному для загального освітлення високих і середніх виробничих приміщень, де виконуються точні зорові роботи і мають місце підвищені вимоги до якості освітлення, які не можуть бути задоволені при застосуванні ламп типу ДРЛ.

Натрієві лампи типу ДНаТ для внутрішнього освітлення застосовують досить рідко через наявність великих пульсації світлового потоку і значного ультрафіолетового випромінювання. Їх допускається застосовувати лише з дозволу органів санітарного надзору при умові, що освітленість в зоні перебування людей не перевищує 150 лк. Ці лампи широко застосовують для освітлення вулиць, площ, парків.

6.4. Вибір рівня освітленості і коефіцієнту запасу

Вибір мінімальної освітленості для внутрішнього і зовнішнього освітлення проводять згідно норм СНБ 2.04.05 – 98 «Штучне і природне освітлення» в залежності від розміру об'єкту розрізнення, контрасту об'єкту з тлом і відбиваючих властивостей тла (робочої поверхні).

Норми встановлюють найменшу освітленість, маючи на увазі, що вона повинна мати місце в «найгірших» точках освітлюваної поверхні перед черговою очисткою світильників. При встановленні норм освітленості керуються наступною шкалою значень: 0,2 – 0,3 – 0,5 – 1 – 2 – 3 – 5 – 10 – 20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 400 – 500 – 600 – 750 – 1000 – 1250 – 1500 – 2000 – 3000 – 4000 – 5000 – 6000 – 7500 лк.

Визначення рівня освітленості по основним норма не завжди можливе, в проектній практиці вибір освітленості проводять по галузевим нормам, що складені на основі СНБ. В цих нормах наводяться величини освітленості для кожного приміщення, розміщення робочих поверхонь, рекомендоване джерело світла і коефіцієнт запасу, а також якісні показники освітлення.

В процесі експлуатації освітлювальної установки значення освітлення на робочих поверхнях зменшується внаслідок того, що з плином часу лампи втрачають свої початкові якості – знижується світловий потік. Це викликано забрудненням ламп, освітлювальної арматури і відбиваючих поверхонь стін, стель і робочих поверхонь. Для того, щоб підтримувати значення освітленості на робочих поверхнях на рівні не менш як нормованому протягом всього терміну експлуатації, її розрахункове значення приймають більшим за нормоване. Це враховується коефіцієнтом запасу, який

характеризує кратність між розрахунковим і нормованим значенням освітленості:

$$k = \frac{E_{\text{розр}}}{E}. \quad (6.1)$$

Значення коефіцієнту запасу для різних типів ламп і освітлюваних об'єктів наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1. Значення коефіцієнтів запасу

Освітлюваний об'єкт	Коефіцієнт запасу	
	Для газорозрядних ламп	Для ламп розжарювання
Виробничі приміщення при наявності в повітрі пилу, диму та ін., мг/м ³ :		
більше 10 – темної	2,0	1,7
більше 10 – світлої	1,8	1,5
5 ...10 – темної	1,8	1,5
5 ...10 – світлої	1,6	1,4
менше 5	1,5	1,3
Приміщення з особливим режимом по чистоті при світильниках нижнього обслуговування	1,3	1,15
Допоміжні приміщення з нормальним середовищем і приміщення громадських і побутових будівель	1,5	1,3
Території підприємств і міст	1,5	1,3

В розрахунках можна наближено приймати значення коефіцієнту запасу $k = 1,3$ – для ламп розжарювання і $k = 1,5$ – для люмінесцентних ламп.

6.5. Розміщення світильників

При системі загального освітлення світильники можна розміщувати над освітлюваною поверхнею або рівномірно, або локалізовано. При рівномірному освітленні світильники розміщують правильними симетричними рядами, створюючи при цьому відносно рівномірну освітленість по всій площі, а при локалізованому розміщенні – індивідуально для кожного робочого місця або джерела виробничого приміщення, створюючи при цьому необхідні значення освітленості лише на робочих місцях.

На рис. 6.1 показано розміщення світильників загального освітлення за висотою приміщення.

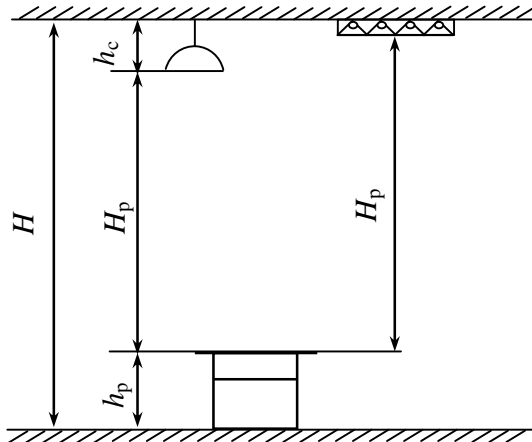


Рис. 6.1. Розміщення світильників за висотою приміщення

Мінімальна висота підвісу світильників над освітлюваною поверхнею визначається умовами обмеження засліпленості. Більшість приміщень громадських будівель мають висоту 2,5...3 м, тому висота підвісу обмежується висотою приміщення.

При загальному рівномірному освітленні кращими варіантами розміщення світильників з точковими джерелами світла є розміщення їх по кутам прямокутника (рис. 6.2 а) або в шаховому порядку (6.2 б), чим досягають найбільш рівномірний розподіл освітленості по всій площі приміщення.

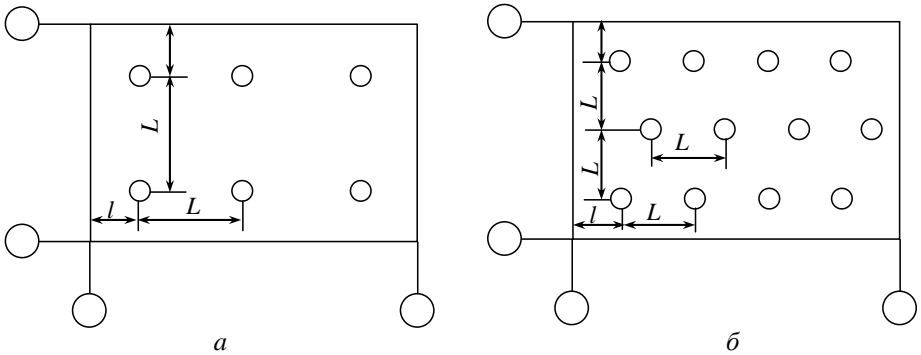


Рис. 6.2. Розміщення світильників на плані приміщення:
a – по кутам прямокутника; *б* – в шаховому порядку.

Вибір відстані між світильниками залежить від їх типу, висоти їх підвісу над робочою поверхнею, а іноді спосіб розміщення світильників залежить від архітектурних або будівельних умов.

При розміщенні світильників на плані приміщення потрібно враховувати, що збільшення відстані між світильниками в ряду або між рядами світильників призводить до збільшення потужності ламп і до збільшення нерівномірного розподілу освітленості на освітлюваній поверхні, оскільки при цьому освітленість під світильниками набагато більша за освітленість точок між ними. При частому розміщенні світильників нерівномірність розподілу освітленості знижується, однак в цьому випадку доводиться застосовувати лампи малої потужності з невеликою світловіддачею, що призводить до підвищеної витрати електроенергії і зростанню початкових затрат на систему освітлення. Звідси випливає, що при виборі відстані між світильниками необхідно визначити таку відстань, яка забезпечила б найменшу встановлену потужність освітлювальної установку і достатню для практичних умов рівномірність освітлення.

Встановлено, що відстань між світильниками залежить від найвигіднішої величини відношення L/H_p , (де L – відстань між світильниками або рядами, м; H_p – висота підвісу світильника над розрахунковою поверхнею, м).

Встановлено, що оптимальна величина L/H_p для різних класифікованих кривих має значення: Д1 – 1,3; Д2 – 1,1; Г1 – 0,91; Г2 – 0,77; Г3 – 0,66; Г4 – 0,57; К1 – 0,49; К2 – 0,42; К3 – 0,36.

Рекомендовані та найбільші допустимі значення величини L/H_p в залежності від кривої сили світла наведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2. Рекомендовані та найбільші допустимі значення L/H_p

Тип кривої сили світла	Значення L/H_p	
	Рекомендоване значення	Найбільше допустиме значення
К	0,4...0,7	0,9
Г	0,8...1,2	1,4
Д	1,2...1,6	2,1
М	1,8...2,6	3,4
Л	1,4...2,0	2,3

В таблиці 6.3 наведені значення відносної відстані L/H_p для деяких типів світильників.

Таблиця 6.3. Значення відносної відстані L/H_p для деяких типів світильників

Тип світильника	L/H_p
Світильники з лампами розжарювання НСП17 НСП01	0,9...1,0 1,4...1,6
Світильники з люмінесцентними лампами ПВЛМ, ЛСП02, ЛСП06, ЛПО	1,4...1,6
Світильники з лампами ДРЛ РСП05, РСП08 РСП18 з лампами ДРИ ГСП17	1,4...1,6 0,9...1,0

Ряди світильників з люмінесцентними лампами потрібно розміщувати паралельно довшій стороні приміщення зі світловими пройомами. Якщо пройоми розміщені на короткій стороні, то ряди світильників можна розміщувати і вздовж і впоперек приміщення. Величину відстані від крайнього ряду світильників до стін (l) рекомендується приймати біля $0,5L$ при наявності в стінах проходів, і $0,3L$ в усіх інших випадках.

При загальному освітленні робочих приміщень світильники з люмінесцентними лампами для створення рівномірного освітлення потрібно розміщувати неперервними рядами, якщо в кожному світильнику число ламп менше чотирьох. Світильники можна розміщувати і рядами з розривами, при цьому відстань між її торцями не повинна перевищувати $0,5$ висоти підвісу світильників над освітлюваною поверхнею.

Відстань від стелі до світильника h_c звичайно приймається $0,5 \dots 0,7$ м (в житлових і громадських будівлях зниженої висоти – $0,3 \dots 0,4$ м).

Порядок розрахунку для визначення розміщення світильників наступний:

1. Планується розміщення світильників, наприклад, по кутам прямокутника.

2. Визначається висота підвісу світильників в приміщенні:

$$H_p = H - (h_c + h_p).$$

3. Визначається кількість рядів світильників:

$$R = \frac{B - 2l}{L} + 1.$$

4. Визначається кількість світильників в ряді:

$$N_R = \frac{A - 2l}{L} + 1.$$

5. Отримані результати округлюються до найближчого цілого числа і перераховуються реальні відстані:

- між рядами світильників:

$$L_B = \frac{B - 2l}{R - 1}.$$

- між світильниками в ряду:

$$L_A = \frac{A - 2l}{N_R}.$$

6. Для прямокутних приміщень перевіряється умова:

$$1 \leq L_A / L_B \leq 1,5.$$

Якщо $L_A / L_B < 1$, то необхідно зменшити кількість світильників в ряду на один або збільшити кількість рядів на один.

Якщо $L_A / L_B > 1,5$, то необхідно збільшити кількість світильників в ряду на один, або зменшити кількість рядів на один.

Загальна кількість світильників визначається за формулою:

$$N_{\text{св}} = R N_R.$$

Світильники з трубчатими люмінесцентними лампами можуть розміщуватись в ряду без розривів або з розривами.

При застосуванні світильників з люмінесцентними лампами із світлотехнічного розрахунку визначають світловий потік Φ_R ряду світильників, а потім розраховується кількість світильників в ряду:

$$N_R = \frac{\Phi_R}{n_{\text{св}} \Phi_{\text{л}}},$$

де $n_{\text{св}}$ – кількість ламп в одному світильнику;

$\Phi_{\text{л}}$ – світловий потік однієї лампи, лм.

При цьому відстані між сусідніми світильниками в ряду:

$$L_A = \frac{A - 2l - N_R l_c}{N_R - 1},$$

де l_c – довжина одного світильника.

В процесі розрахунків необхідно слідкувати, щоб сумарна довжина світильників з люмінесцентними лампами в одному ряду не перевищувала довжини приміщення.

РОЗДІЛ 7

КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК

Можливості комп'ютерного проектування в області світлового дизайну досить широкі і постійно розширюються. В останні роки на ринку програмного забезпечення з'явилися десятки світлотехнічних програм різного рівня і спеціалізації, в тому числі DIALux.

DIALux ідеально підходить для проектування освітлювальних установок в приміщеннях промислових і громадських будівель. Можливості вибору показників технічного утримування приміщення дозволяють розрахувати більш реалістичну ситуацію експлуатації освітлювальної установки і якості освітлення.

Серед можливостей програми при розробці світлотехнічного проекту також слід відмітити роботу з тривимірним виглядом, різноманітні способи візуалізації об'єкту, варіативність рішень при виборі і установці світильників, обробці світлотехнічних даних, коректуванні кольоропередачі джерел світла, побудові сцен освітлення з елементами керування.

В цілях проектування освітлювальних установок в DIALux передбачено побудову і розрахунок сцен освітлення, в тому числі і з урахуванням денного світла. Різноманітні параметри і стандарти, інтегровані в програму DIALux, легко можуть обиратись користувачем.

7.1. Особливості та призначення програмного комплексу DIALux

DIALux – програма для планування і дизайну освітлення, яка розробляється з 1994 року DIAL GmbH (Deutsche Institut für Angewandte Lichttechnik) – Німецьким інститутом прикладної світлотехніки. DIALux запускається на всіх поточних платформах Windows і постійно покращується кваліфікованою групою

розробників. Актуальна версія програми і оновлення DIALux можуть бути завантажені з сайту <http://www.dialux.com>.

Розрахунок в програмному комплексі DIALux відрізняється простотою і наочністю, так як програма при розрахунку дозволяє в усіх деталях враховувати не лише світловий потік, що приходиться на робочу поверхню від джерела світла, але і світловий потік, що переломлюється, відбивається і потрапляє на робочу поверхню від стін, стелі, меблів в приміщення а також світловий потік, що виникає внаслідок відбиваючих властивостей всіх цих поверхонь.

Програма DIALux окрім безпосереднього розрахунку освітленості на будь-якій поверхні дозволяє контролювати показники якості освітлення: горизонтальну освітленість, насиченість приміщення світлом, рівномірність освітлення.

7.2. Основні можливості програми DIALux

До основних можливостей комп'ютерного проектування освітлювальних установок в програмному комплексі DIALux відносяться:

- освітлення всередині приміщень та дизайн інтер'єру;
- зовнішнє освітлення;
- вуличне освітлення;
- аварійне освітлення;
- природне освітлення;
- сцени освітлення;
- енергетична оцінка систем освітлення.

Програма дозволяє розраховувати внутрішнє та зовнішнє освітлення, при цьому розрахунок здійснюється при заданому типі і кількості світильників та їх розміщенні. При розрахунку враховується геометрія приміщень, колір і текстура поверхонь, а також наявні в приміщенні меблі.

Найбільш важливими результатами розрахунку є графічне зображення розподілення освітленості по робочій поверхні та загальний тривимірний вигляд освітленого приміщення. Крім того, можливо отримати ізолінії постійної освітленості, таблицю і графік освітленості, відомість світильників та їх паспортні дані.

Унікальна можливість планування і побудови сцен освітлення з елементами керування розкриває додаткові можливості проектувальника. Так, в програмному комплексі DIALux можливе врахування зонування простору в приміщенні, розрахунок і аналіз освітлювальних установок для кожної із сцен освітлення і всього проекту в цілому.

Окрема увага приділяється питанням проектування і аналізу сцен освітлення з урахуванням природного світла, планування і розрахунку аварійного освітлення. Дані сцени освітлення можуть бути сформовані окремо або являться складовою частиною єдиного проекту освітлення.

Найбільш важливим нововведенням програми DIALux є можливість провести енергетичну оцінку проекту. Інформація, що введена в процесі планування освітлення (наприклад, геометрія кімнати, природне освітлення, джерела світла) адаптується програмою DIALux для енергетичної оцінки проекту і автоматично використовується при розрахунку.

7.3. Інтерфейс користувача DIALux

Інтерфейс користувача DIALux виконаний в стилі Windows XP. Робота в програмі починається з діалогового вікна (рис. 7.1).

Робота з приміщеннями (побудова, наповнення, планування і розрахунок освітлення всередині приміщення) через діалогове вікно може бути розпочата будь-яким із запропонованих нижче варіантів:

1. *Новий проект інтер'єру.* Відкривається інтерфейс користувача в режимі роботи всередині приміщення.

2. *DIALux-асистенти.* Якщо ви працюєте з DIALux вперше і не маєте досвіду роботи з програмами автоматизованого проектування, можливо створювати ваші перші проекти з допомогою *Асистентів*.

3. *Відкрити проект.* Програма пропонує вам здійснити пошук і відкриття документа в форматі *.dlx.

4. *Відкрити останній проект.*

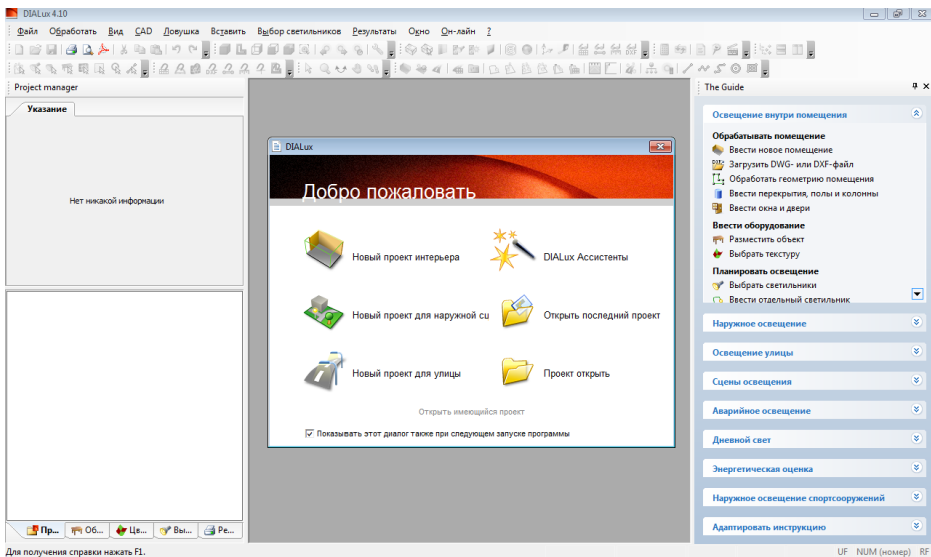


Рис. 7.1. Діалогове вікно початку роботи в DIALux.

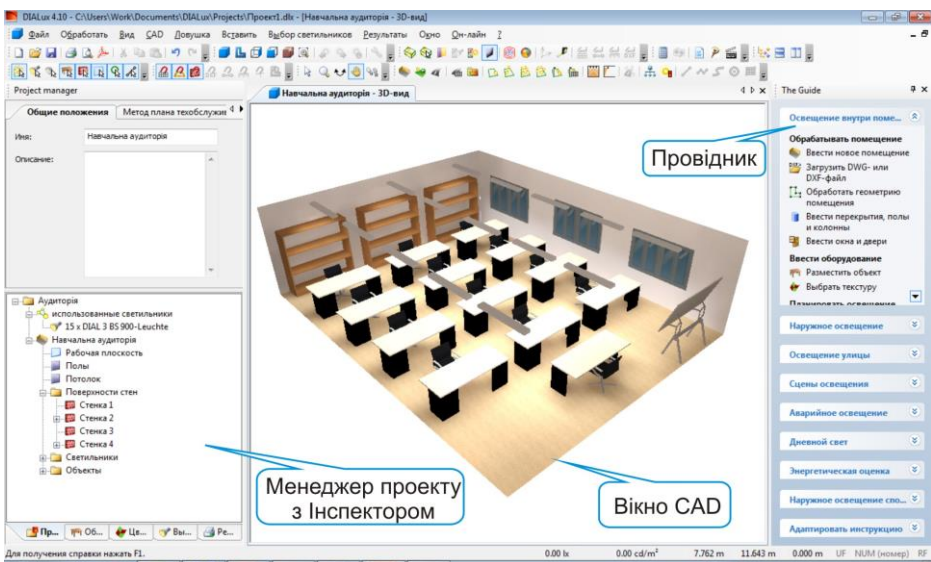


Рис. 7.2. Інтерфейс користувача DIALux

Інтерфейс користувача DIALux розділений на три головні робочі області (рис. 7.2).

- вікно CAD;
- менеджер проекту з Інспектором;
- провідник.

В кожній з цих областей є доступ до деяких програмних функцій або операцій редагування об'єктів.

Інтерфейс користувача DIALux відрізняється простими і доступними діалогами, включає в себе динамічні параметри налаштування інструментальної панелі та *Провідник*, в якому відображаються основні розділи проектування.

В роботі з DIALux для інтерактивного планування освітлення можливо використовувати чотири основних види зображення об'єкту (рис. 7.3): тривимірний вид, вид в плані, вид збоку, вид зпереду, які оснащені додатковими операціями переміщення, масштабування, обертання або вибору об'єкту всередині або ззовні приміщення.

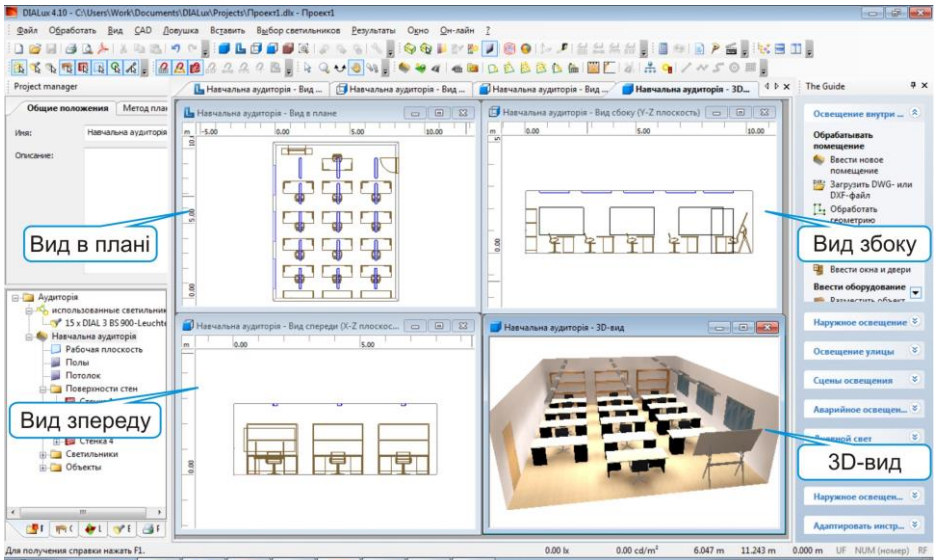


Рис. 7.3. Основні вигляди об'єкту в DIALux.

Можлива одночасна робота в декількох вікнах (або видах). Якщо об'єкт було вставлено в приміщення, до його контекстного меню можна також звернутись з допомогою натискання правої кнопки миші. З допомогою миші можливо графічно обертати, змінювати масштаб зображення, здвигати зображення і рухатись по приміщенню, вулиці або зовнішній сцені. Опцію панорамування або опцію переміщення завжди можна викликати через середню кнопку миші.

При роботі з DIALux дуже важливим і зручним є застосування правої кнопки миші для виклику контекстного меню. В залежності від вибраного об'єкту, режиму програми і робочої області з її допомогою можна звертатись до різноманітних важливих опцій.

В DIALux є можливість перемикачесь в каркасний режим перегляду. Знайти цю функцію можна в головному меню: **Вид > Представление через каркасную сетку**, або з допомогою комбінації клавіш **Ctrl+W**.

Менеджер проекту відкриває швидкий доступ до елементів, що були використані в вашому проекті освітлення. Кожний окремий елемент може бути обраний, і його властивості можуть бути переглянуті та змінені у вікні *Інспектора*.

Менеджер проекту включає в себе вікно *Інспектора* і відповідну деревоподібну структуру (проект, меблі, текстура, вибір світильника, результат). Менеджер проекту організовує загальну проектну інформацію, а також дані всіх приміщень, зовнішніх сцен, вулиць і світильників.

Провідник – це елемент інтерфейсу, який безпосередньо забезпечує доступ до всіх етапів проектування, в тому числі необхідних для розміщення світильників (вкладка *Планирование освещения*). Якщо курсор затримати на вкладці **Освещение внутри помещений**, то будуть доступні всі опції для проектування внутрішнього освітлення. Якщо провідник прихований, то доступ до нього здійснюється з допомогою вибору пунктів головного меню **Окно > Показать окно Проводника** (рис. 7.2).

7.4. Порядок роботи над проектом в програмному комплексі DIALux

Порядок роботи над проектом в програмному комплексі DIALux можна розділити на ряд послідовних етапів:

1. *Побудова геометрії приміщення:* введення розмірів і геометрії приміщення (робота в видах).
2. *Операції побудови та редагування:*
 - приміщень (геометрія приміщень, інструменти вирівнювання та ін.);
 - об'єктів або елементів приміщення (введення коефіцієнтів відбиття поверхонь, текстури, кольору і матеріалу поверхонь, меблів, світильників, розрахункових поверхонь і точок);
 - світильників і освітлювальних установок (вибір типу світильника, місць їх розташування).
3. *Визначення сцен освітлення та елементів керування:*
 - моделювання систем керування освітленням (підбір елементів керування, формування сцен освітлення)
 - визначення сцен штучного освітлення, природного освітлення, аварійного освітлення.
4. *Розрахунок освітлення всередині приміщення:*
 - розрахунок світлового потоку, рівнів освітленості, споживаної потужності джерел світла (відомість DIALux «Світлотехнічні результати»);
 - розрахунок нормальної (плоскої) освітленості, перпендикулярної освітленості та ін.;
 - розрахунок освітленості на робочих місцях;
 - розрахунок UGR (Unified Glare Rating) – показників засліплення (показник засліпленості або показник дискомфорту, коефіцієнт засліпленості);
 - розрахунок сцен освітлення з елементами керування;
 - розрахунок природного і аварійного освітлення.
5. *Візуалізація проекту в CAD:*
 - фотореалістична візуалізація освітлення приміщення;
 - перегляд і аналіз ізоліній робочої площини;

- тривимірне представлення розподілення світла (від одного або групи світильників);
 - розподіл природного освітлення в приміщенні та ін.
6. *Енергетична оцінка проекту.*
7. *Виведення результатів розрахунків і формування звіту в DIALux. Створення відеодокументів.*

7.5. Методика виконання окремих етапів роботи над проектом DIALux

Початком роботи над проектом є визначення форм і розмірів об'єкту (приміщення, зовнішньої сцени). Засобами комп'ютерного проектування ведеться побудова об'єкту по обраному плану або кресленню в необхідному масштабі. При проектуванні реального об'єкта розміри визначають безпосереднім вимірюванням, а дані вносяться в розрахункову програму.

Створення інтер'єру в DIALux складається із наступних основних етапів побудови.

1. Побудова геометрії приміщення включає в себе введення розмірів і геометрії приміщення. Існують наступні способи задання геометрії приміщення:

- з допомогою *Асистентів приміщень*;
- при створенні нового проекту внутрішнього освітлення.

Щоб створити нове приміщення необхідно натиснути в *Провіднику* (зліва) кнопку *Ввести новое помещение*. Після цього справа у вікні CAD з'явиться вид в плані, а координати приміщення відображаються в *Інспекторі* (справа), як показано на рис. 7.4.

Тут же можна здійснювати редагування геометрії приміщення (**Проводник > Обработать геометрию помещений**) і роботу з приміщеннями в різних видах (панель інструментів **Вид**, рис. 7.5).

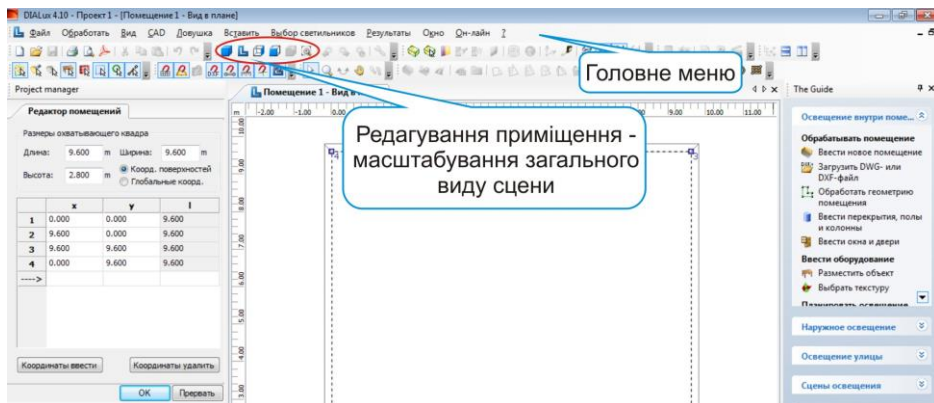


Рис. 7.4. Створення нового приміщення в DIALux



Рис. 7.5. Панель інструментів «Вид»

кнопки команд зліва направо:

3D-відображення за замовчуванням; вид в плані; вид зпереду; загальний вид сцени – зміна масштабу зображення; попередня сцена освітлення; наступна сцена освітлення; показати значення затемнення в CAD; показати фактори плану технічного утримування в CAD.

Для роботи з геометрією приміщення в різних видах можна обирати необхідні зображення, які по чергово будуть змінюватись у вікні CAD. Однак для сукупності представлення видів зображення можна організувати виведення результатів у певній послідовності виходу на екран – *Каскадний режим*.

2. Вибір і вставка елементів приміщення – коефіцієнти відбивання поверхонь, текстура, колір і матеріал поверхонь, меблі, світильники, розрахункові поверхні і точки.

Вставка елементів приміщення здійснюється через *Провідник* («Освещение внутри помещения») або через деревовидну структуру *Інспектора* (меблі, текстура, вибір світильників). Робота

з *Провідником* одночасно відображається у вікнах *Менеджера проекту* та *Інспектора* (рис. 7.6).

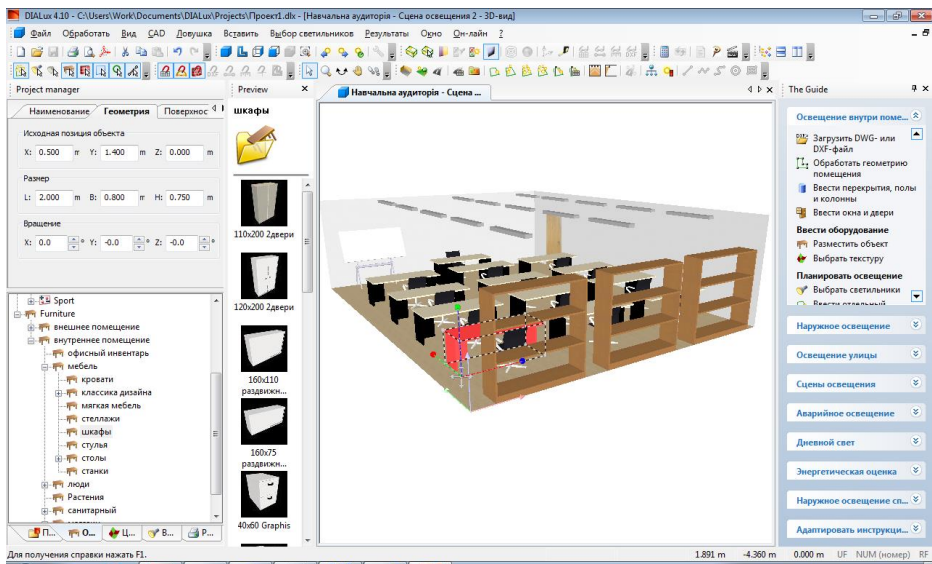


Рис. 7.6. Вибір і вставка елементів приміщення

Процедура вставки будь-якого елемента приміщення може здійснюватись двома шляхами:

- вибором об'єкту з допомогою курсору миші, введення геометрії розміщення об'єкту (у вікні *Менеджера проекту*) і підтвердження дій натисненням на кнопку *Вставить*;
- перенесенням об'єкту з допомогою миші в простір приміщення, при цьому місце положення при необхідності можна відредагувати через вікно *Менеджера проекту*.

3. Операції редагування приміщень, об'єктів, світильників і освітлювальних установок.

Змінювати геометрію приміщення можливо шляхом переміщення окремих точок з допомогою миші або шляхом вставлення окремих точок з допомогою правої кнопки миші. Також дану операцію можна виконати шляхом редагування координат точок приміщення у вікні *Інспектора*.

При роботі з видами існують допоміжні операції, які відображені в пункті головного меню **CAD** а також в панелі інструментів «Режим работы с мышью» (рис. 7.7).

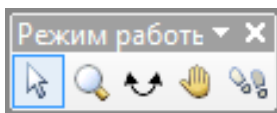


Рис. 7.7. Панель інструментів «Режим работы с мышью»

Кнопки команд зліва направо:

вибір об'єктів, масштабування виду; обертання тривимірного виду; зміщення виду; переміщення по сцені

Редагування даних приміщення. При роботі у вікні *Менеджера проекту* різні властивості приміщення відображаються з допомогою *Інспектора*. Тут знаходяться наступні вкладки:

- загальні положення;
- метод плану техобслуговування;
- поверхні в приміщенні;
- орієнтування.

Загальні положення, на вкладці яких здійснюється введення проектної інформації: назва приміщення і його опис.

Метод плану техобслуговування включає в себе два способи роботи з проектною інформацією у вигляді *Простого* або *Розширеного методу визначення коеф. обслуговування* (табл. 7.1).

Таблиця 7.1. Значення коефіцієнту обслуговування приміщення

№ з/п	Стан об'єкту згідно EN 12464-1, СІЕ 97	Коефіцієнт технічного утримування
1	Дуже чисте приміщення, малий термін експлуатації	0,8
2	Чисте приміщення, 3-х річний цикл техобслуговування	0,67
3	Зовнішня сцена, 3-річний цикл техобслуговування	0,57
4	Внутрішня і зовнішня сцена, сильна забрудн.	0,50

Стан приміщення в програмі задається коефіцієнтом технічного утримування. В DIALux це автоматично об'єднано з програмою планування освітлення. Параметри обслуговування освітлювальних установок в проекті можуть бути оптимізовані відносно значення коефіцієнту обслуговування. Проектувальнику необхідно лише забезпечити розробку плану техобслуговування в проекті освітлення. Для користувача також передбачена можливість використовувати значення коефіцієнту обслуговування як загальне сумісне значення кімнати і неорієнтованого світильника.

4. Вибір виду і системи освітлення. Як зазначалось в попередніх розділах, розрізняють наступні види освітлення: робоче, чергове, аварійне, охоронне, архітектурне, декоративне та ін. Також системи освітлення можна класифікувати за місцем розташуванням: внутрішнє та зовнішнє освітлення.

Робоче освітлення призначене для створення в усіх точках робочих поверхонь нормальних умов для виконання певних робіт. При цьому освітленість в усіх точках повинна бути не нижче нормованої, а пульсація світлового потоку не повинна перевищувати її допустимого значення.

Для приміщень всіх призначень застосовуються системи загального або комбінованого (загального і місцевого) освітлення. Система загального освітлення може бути рівномірною і локалізованою (світловий потік перерозподіляється по приміщенню нерівномірно, з урахуванням розташування освітлюваних поверхонь). Використання в приміщеннях лише системи місцевого освітлення не допускається.

В залежності від типу приміщення або вимог до освітленості зовнішньої території обираються відповідні системи освітлення, які і враховуються в подальших етапах проектування.

5. Вибір типу світильників та інших джерел світла. В сучасних приміщеннях в основному використовують чотири основних види джерел світла: лампи розжарювання, галогенні лампи розжарювання, люмінесцентні лампи (лінійні, компактні) та світлодіоди. Слід зазначити, що якісно нову ситуацію в організації світлового простору, в тому числі і інтер'єру, можна створити шляхом застосування світлодіодного освітлення. Окрім очевидних

переваг світлодіодного освітлення, насамперед їх енергоощадність, слід відмітити, що вони дають можливість створення установок з динамічно змінною в часі та просторі яскравістю і кольором.

Вибір світильників як самостійна категорія DIALux відображена в *Головному меню* програми та в дереві *Менеджера проекту*. Розділ *Вибір світильників* являє собою розширену базу даних світлових приладів, яка включає наступні підрозділи.

Каталоги DIALux (активні і неінстальовані). Папка **Каталоги DIALux** містить встановлені раніш (активні) каталоги світильників. З допомогою одного подвійного натискання лівої кнопки миші на назві виробника можна відкрити каталог. В папці **Неінстальовані каталоги** міститься перелік партнерів проекту DIALux, каталоги яких ще не встановлені. Подвійне натискання лівої кнопки миші на назвах виробників відкриє їх інтернет сторінку, з допомогою якої можна завантажити необхідний каталог світильників для DIALux.

Онлайнві (інтерактивні) каталоги. В DIALux є можливість вставити файли світильників із так званих **Інтерактивних каталогів**. Функціонування їх подібне роботі з установленими каталогами світильників. Інтерактивний каталог дозволяє вставити світильник із інтернет сторінки виробника безпосередньо в проект DIALux. Таким чином, ви маєте постійний доступ до поточних файлів виробника. Однак вставка світильників із інтерактивного каталогу працює лише у випадку, якщо цей сервіс пропонується відповідним виробником.

Файли світильників. Папка може містити файли з фотометричних даних світильників, що не входять до каталогів, файли з базами даних світильників із інших резервів.

Власний банк даних. Можливо сформувати власний банк даних світлових пристроїв. На початковому етапі роботи з програмою в цій папці знаходяться бази даних світильників під маркою DIAL версія 4.0.

Використовувані раніше світильники. Тут завжди перераховані світильники, що використовувалися у останніх проектах (до 20 найменувань різних виробників).

DIALux підтримує наступні формати файлів світильників: *.uld, *.ldt (Eulumdat), *.cib (CIBSE), TM14, *.ies (IES), LTLi.

6. Операції редагування освітлювальних установок в DIALux. Вибір, побудова і подальші дії з відповідним обладнанням і їх світлотехнічними і фотометричними даними передбачає роботу з наступними операціями редагування освітлювальних установок: вибір і вставка світильників, тип розміщення, юстування.

Вибір і вставка світильників може здійснюватись шляхом вибору одного світильника, вибору поля світильників.

Вибір і вставка окремого світильника передбачає введення наступних даних про світильник:

- вид монтажу світильника, його монтажна висота;
- кут повороту світильника (позиція-обертання);
- технічні дані світильників;
- параметри світильника з шарнірними з'єднаннями;
- включення у розрахунок геометрії світильника.

Користувач може по запиту включити геометрію світильника в розрахунок. Це не є необхідним для нормально встановлених на поверхню або утоплених (в стелю) світильників. Подовжені підвісні світильники, які випромінюють світло безпосередньо або опосередковано, можуть висіти в своїй власній тіні, що можливо викличе необхідність врахування геометрії світильника при розрахунку.

Для вставки полів світильників необхідно:

- ввести поле світильників;
- ввести розташування лінійок;
- ввести кругове розташування світильників.

Тип розміщення світильників. З допомогою DIALux планування освітлення всередині приміщення можливе наступними групами розташування світильників (рис. 7.8).

7. Юстування світильників – це направлення світлового потоку світильника на задану точку або поверхню. В DIALux наявні декілька інструментів для спрощення вирішення цієї задачі.

Вирішити питання про направлення світлового потоку можливо з допомогою функції **Вид > Вспомогательные лучи у светильников** (жовта і червона направляючі, рис. 7.9) або натиснувши клавіші **Ctrl+R**.

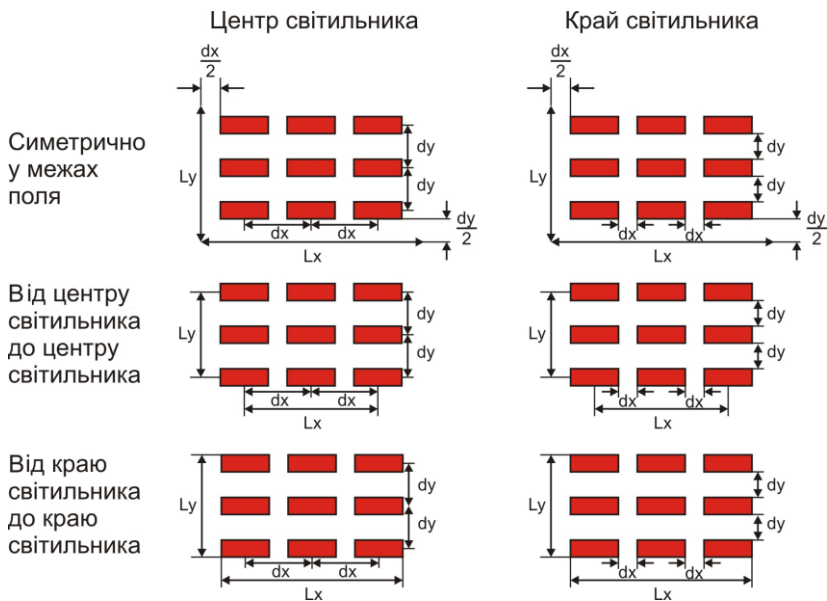


Рис. 7.8. Вплив типу розміщення і типу призначення розмірів на розміри поля світильників

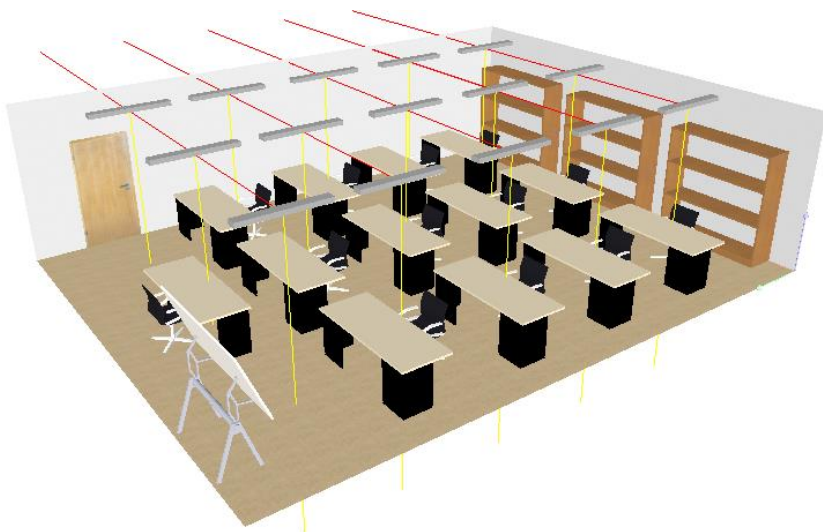




Рис. 7.9. Допоміжні промені у світильників

При необхідності можна також ввімкнути тривимірну криву розподілу світла (рис. 7.10), натиснувши на панелі *Вспомогательный инструмент* кнопку  (для усіх світильників) або кнопку  (лише для вибраного світильника).

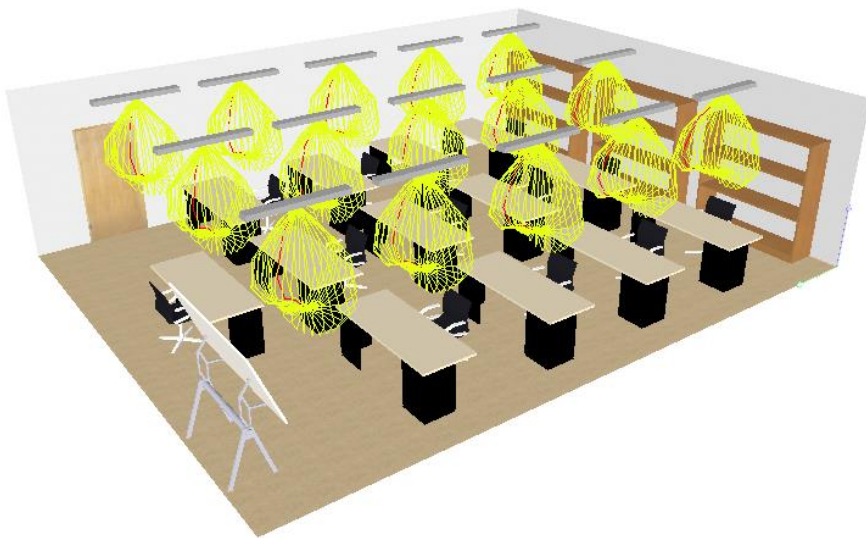



Рис. 7.10. Тривимірні криві розподілу світла

Ця функція досить корисна для перевірки правильності розміщення світильників з асиметричним розподілом світла.

Додатково операція юстування корисна для роботи зі світильниками, що мають шарнірні з'єднання. В DIALux з допомогою тривимірних моделей світильників стало можливим налаштувати ці з'єднання (софіти, повністю підвісні системи, прожектори, освітлення вулиць).

Крім того, позиції направленої світла можуть різнитись, тому операції юстування можуть бути застосовані як до окремого світильника, так і до освітлювальної установки в цілому. Юстування світильників може бути скоректоване з допомогою функції *Задать освещаемую точку* (натиснувши кнопку ) , яка

дозволяє направляти жовтий (вертикальний) допоміжний промінь на будь-яку точку на обраній поверхні.

8. Розрахунок і вибір потужності джерела світла. Задача світлотехнічного проекту – визначити споживану потужність джерел світла для забезпечення нормованої освітленості. В DIALux всі дані результатів розрахунків формуються в базі даних *Результаты*. Розрахункові параметри освітлювальної установки розміщуються у відомості *Светотехнические результаты* (рис. 7.11).

The screenshot shows the DIALux 4.10 interface with the following data:

Начальная аудитория / Светотехнические результаты

Общий световой поток: 26229 lm
 Общая мощность: 645.0 W
 Коэффициент эксплуатации: 0.80
 Кривая зона: 0.500 m

Поверхность	Средние освещенности [lx]			Коэффициент отражения [%]	Средние яркость [cd/m²]
	Напрямую	Опосредованно	Всего		
Рабочая плоскость	267	66	332	/	/
Полы	121	42	164	63	33
Потолок	0.00	102	102	73	24
Стенка 1	0.71	46	47	50	7.50
Стенка 2	37	72	109	50	17
Стенка 3	15	71	86	50	14
Стенка 4	26	66	92	50	15

Равномерность на рабочей плоскости
 $E_{min} / E_{avg} = 0.302 (1.3)$
 $E_{min} / E_{max} = 0.243 (1.4)$

Соотношение освещенностей (по LGT): Стены / Рабочие плоскости: 0.232, Потолок / Рабочая плоскость: 0.306

Удельная подвсоединенная мощность: $7.87 \text{ W/m}^2 = 2.37 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 81.97 m^2)

Рис. 7.11. Відомість «Світлотехнічні результати»

Отримані розрахункові дані можуть бути доповнені або скориговані в режимі *Менеджера проекту* для кожної відомості окремо, готовий результат обробки виноситься на друк.

При проектуванні роблять перевірочний розрахунок, мета якого – визначити фактичну освітленість в розрахункових точках робочих поверхонь по світильниках відомих типів і світловим потокам встановлених в них ламп. При розрахунках світлотехнічні параметри світильників і ламп, що в них встановлені, вносяться в ядро проекту автоматично при виборі світлового приладу. Однак

слід пам'ятати, що параметри потужності та світлового потоку ламп можуть бути внесені користувачем самостійно у вікні *Менеджера проекту*, або ж ці параметри можуть бути скориговані через вікно *Каталог ламп*. Всі змінені параметри враховуються при розрахунках і відображаються у відомостях проекту *Результаты*.

Після того, як було виконано всі необхідні етапи підготовки проекту до розрахунку, описані в даному параграфі, необхідно перейти до побудови сцен освітлення в DIALux.

7.6. Побудова сцен штучного освітлення в DIALux

Сучасний світ дизайну промислових та побутових об'єктів неможливий без вирішення одного з основних питань – грамотної організації і планування освітлення. Відомо, що світло і його функціональне призначення впливають на здоров'я людини, його настрій і працездатність.

Планування сцен освітлення при проектуванні освітлювальних установок передбачає забезпечення засобів і пристроїв керування освітленням в цих сценах. До методів безпосереднього керування освітлювальними установками належать дискретне вмикання/вимикання всіх або частини світильників по командам керуючих сигналів, а також ступінчасте або плавне зниження потужності освітлення в залежності від цих сигналів.

Досягнення оптимальної роботи освітлювальних установок при економії витрат електроенергії на освітлення можливо здійснити, використовуючи електронні автоматичні системи керування освітленням. Системи керування освітленням виконують наступні основні функції:

- точне підтримування штучної освітленості і кліматичних параметрів в приміщенні на заданому рівні;
- врахування природного освітлення в приміщенні із урахуванням часу доби, дня тижня;
- врахування присутності людей в приміщенні;
- дистанційне безпроводне керування освітлювальними установками.

Автоматичні системи керування з датчиками дозволяють в значній мірі заощаджувати витрати на освітлення. Керування

освітленням здійснюється з допомогою датчиків світла, які в залежності від рівня природного освітлення в приміщення регулюють освітленість (підтримують постійний рівень освітленості). Завдяки грамотному використанню природного освітлення економія витрат на електроенергію може сягати до 60 %. Забезпечити економію витрат від 70 % і вище можна з допомогою датчиків для автоматичного вимкнення світла, датчиків руху, таймерів. Автоматизовані системи керування освітленням можуть забезпечувати керування освітленням окремих світильників, приміщення або цілої будівлі. В такому випадку їх розподіляють на три класи:

1. *Система керування освітленням світильника* – найпростіша малогабаритна система, конструктивно є частиною світильника і здійснює керування лише ним або однією групою декількох прилеглих світильників.

2. *Система керування освітленням приміщення* – самостійна система, яка керує однією або декількома групами світильників в одному або декількох приміщеннях і знаходиться поблизу керованої освітлювальної установки.

3. *Система керування освітленням будівлі* – централізована комп'ютеризована система керування, що охоплює освітлення та інші системи цілої будівлі або групи будівель.

Більш детально системи керування освітлювальними установками описані в розділі 9 даного посібника.

Слід зазначити, що з допомогою DIALux можливо змодельовувати роботу всіх вищезазначених систем автоматичного керування освітленням.

7.6.1. Сцени освітлення з елементами керування. Програмний комплекс DIALux є універсальним програмним продуктом для проведення світлотехнічних розрахунків штучного освітлення.

В цілях проектування освітлювальних установок в DIALux передбачені побудова і розрахунок *сцен освітлення*. Планування сцен освітлення носить індивідуальний характер, включаючи особливості внутрішнього простору, норм і правил штучного освітлення. Завдяки можливостям DIALux врахування параметрів і засобів керування освітленням дозволяє виконати проект

максимально комфортного і економічного освітлення. В сценах освітлення для формування необхідного візуального оточення також необхідні додаткові прийоми естетичного порядку, що сприяють виділенню світлом архітектурних деталей, суміщенню штучного освітлення з природним, забезпечують стильову єдність світильників. Виконання проекту освітлення з елементами керування розкривають додаткові можливості проектування освітлення.

Для реалізації моделювання сцен освітлення з елементами керування в програмі DIALux відводиться окремий розділ.

Планування і побудова сцен освітлення здійснюється в режимі меню *Провідника* як самостійний розділ, так і в розділі *Освещение внутри помещения*.

Використовуючи можливості DIALux можна створювати різноманітні сцени освітлення в залежності від ситуації і ролі штучного освітлення.

Засобами *Планирования освещения* побудова сцен освітлення можлива наступними основними способами (рис. 7.12):

- вибір, вставка і редагування окремого світильника;
- кругове розташування світильників;
- поле світильників;
- розташування лінійок світильників.

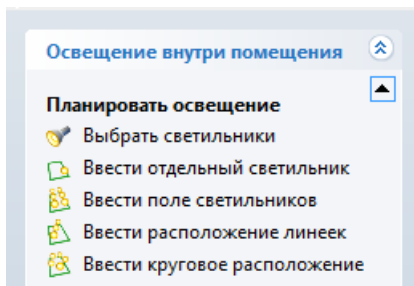


Рис. 7.12. Розділ провідника «Освещение внутри помещения»

Окрім того, варіюючи або змінюючи параметри і властивості освітлювальних установок можливо поєднання або комбінування в виборі і побудові сцен освітлення, врахування індивідуальних

особливостей і функціонального призначення приміщення. Комбінуючи різні джерела світла та їх місцезнаходження можна створювати необхідну обстановку: звичайну, робочу та ін. З допомогою елементів керування освітленням можна легко і швидко змінювати режим освітлення в залежності від обстановки, підкреслювати деякі деталі інтер'єру або акцентувати увагу на певних зонах приміщення.

В DIALux окремо можлива побудова сцен освітлення *природного освітлення*, в тому числі при наявності штучного освітлення виконувати сцени з урахуванням природного світла. Це відкриває додаткові можливості проектування: планування і розрахунок освітлювальних установок носить більш реалістичний характер.

Самостійним розділом в проектуванні і планування освітлення є *Аварійне освітлення*. В світлотехнічній практиці проектування освітлювальних установок даному розділу приділяється особлива увага. В DIALux проектування аварійного освітлення можливо в режимі *Провідника* (рис. 7.13), а також може бути сформована як окрема або додаткова сцена всередині проекту.

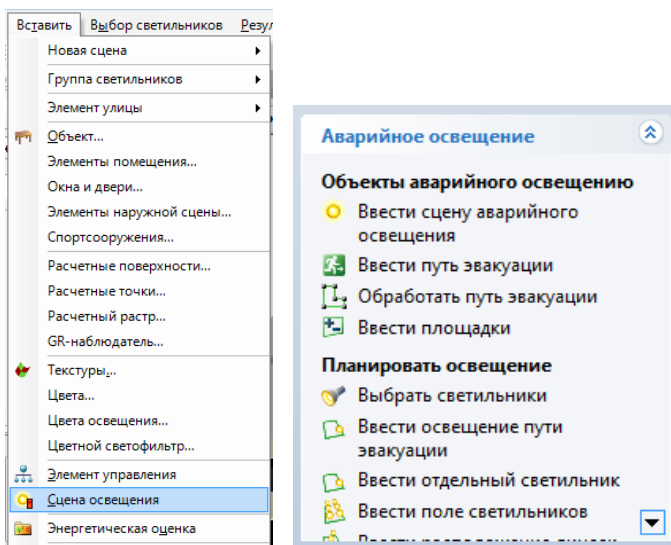


Рис. 7.13. Створення сцен основного та аварійного освітлення

Також програма DIALux дозволяє планувати *Кольорове освітлення*. Джерела світла, що приймають участь в сценах освітлення з елементами керування можуть отримати спектр або фільтр.

7.6.2. Етапи побудови сцен освітлення з елементами керування в DIALux. DIALux підтримує планування динамічного керування світлом, надає можливість визначати групи світильників, вмикати і вимикати значення «затемнення» для цих груп, автоматично розраховувати сцени освітлення, візуалізувати і обробляти результати планування.

Сцени освітлення визначають змінні властивості ввімкнутих в них керованих груп світильників, наприклад значення затемнення, колір освітлення, нахил і розташування світильника. Таким чином, групи установок світильників називаються *елементами керування* в сценах освітлення.

При побудові сцен освітлення необхідно враховувати певні вимоги:

1. Будь-які світильники можуть бути додані в елементи керування так само, як і окремі світильники в освітлювальній установці.

2. Світильники можуть існувати в більш ніж одному елементі керування.

3. Сцени освітлення можуть містити один або декілька елементів керування.


4. Одночасно в сценах освітлення не можуть існувати елементи керування, які містять один і той же світильник.

5. Сцена освітлення може бути розрахована в цілому або результат розрахунку всіх необхідних елементів керування сцени освітлення може бути змінений в інтерактивному режимі, в залежності від змін в сцені освітлення.

Подальше планування сцен освітлення супроводжується наступним алгоритмом дій користувача:

1. Вставити нове приміщення, ввести всі параметри налаштування на відповідних сторінках властивостей (напр., див. **Редактирование данных помещения**).

2. Вставити із каталогу світильники, які будуть використовуватись в проєкті.

3. Вибрати світильники, які слід об'єднати в елемент керування. Якщо вставка здійснюється через поле світильників, необхідно активувати функцію **Разрешить выбор отдельного светильника** , щоб вибрати один світильник.

4. DIALux пропонує опцію, яка дозволяє додати освітлювальну установку до одного або декількох елементів керування. З допомогою контекстного меню **Ввести элемент управления** у вікні CAD або в дереві проекту, а також з допомогою меню **Вставить > Элемент управления** можна додати обраний світильник до нового або існуючого елемента керування (рис. 7.14).

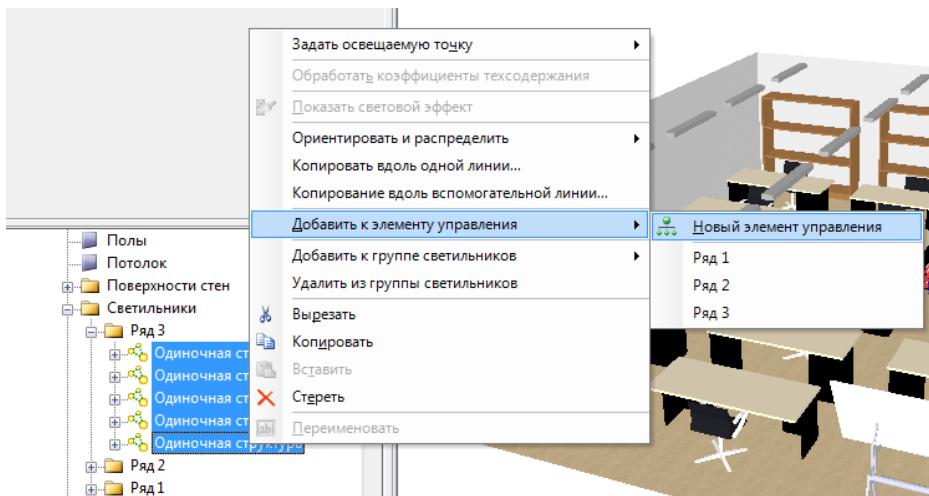


Рис. 7.14. Додавання групи світильників до елемента керування

5. Після цього в *Менеджері проекту* елемент керування відображається зі зв'язаними з ним світильниками. Елемент керування отримує назву на відповідній сторінці властивостей.

6. Якщо світильники будуть видалені, то вони також одночасно видаляються із відповідного елемента керування (при умові, що вони відносяться до елемента керування).

7. З допомогою меню **Вставить > Сцена освещения** можна вставити сцену освітлення в проект (рис. 7.13).

Альтернативно можна вставити сцену освітлення із контекстного меню приміщення.

8. Додати елемент керування до відповідної сцени освітлення натиснувши в Менеджері проекту на ньому праву кнопку миші та скориставшись контекстним меню (рис. 7.15).

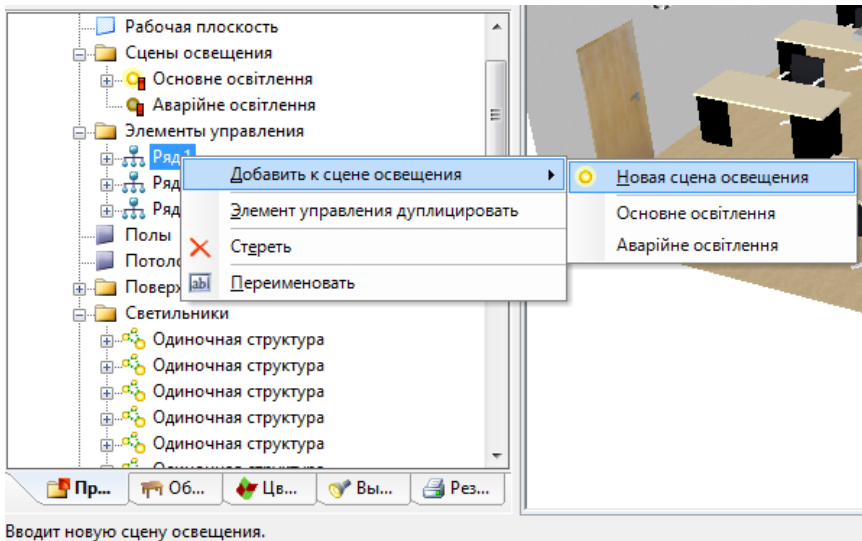


Рис. 7.15. Додавання елементу керування до сцени освітлення

Вкладка *Сцена освітлення* містить назву сцени освітлення, яку можна змінити. Якщо виділити сцену освітлення в дереві проекту, в *Інспекторі* відкриваються відповідні сторінки властивостей. Те ж саме відноситься і до елементу керування, який доступний в сцені освітлення.

9. Встановити значення затемнення для кожного з елементів керування, змінюючи значення затемнення у відповідних вкладках елементу керування або сцени освітлення (рис. 7.16).

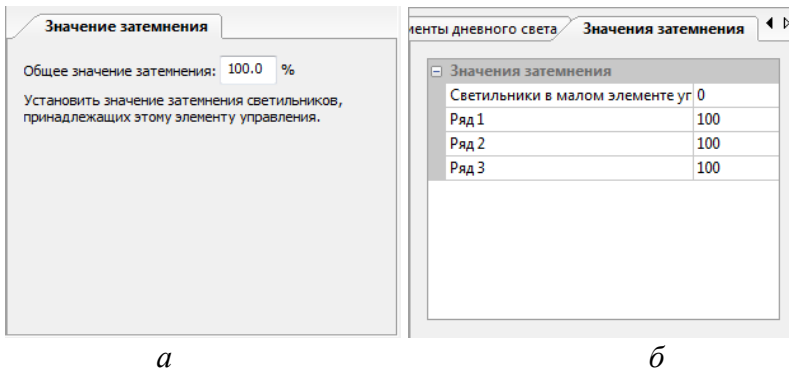





Рис. 7.16. Встановлення значення затемнення:

- а – встановлення значення затемнення для окремого елемента керування;
 б – встановлення значення затемнення для елементів керування, що належать до сцени освітлення

З допомогою кнопки  можна відобразити у вікні CAD значення затемнення для кожного світильника.

З допомогою кнопок  і  можна перемикались між різними сценами освітлення за умови, якщо в проекті наявні декілька сцен освітлення.

7.6.3. Приклад розрахунку сцени основного освітлення. В якості прикладу розглянемо побудову сцени основного освітлення (рис. 7.3, 7.6, 7.9, 7.10) із використанням поля світильників.

Для створення цієї сцени освітлення після побудови приміщення та вставки елементів приміщення необхідно:

1. Обрати потрібний світильник в діалозі *Выбор светильников* в підменю *Каталог* або *Собственный банк данных*.

2. Обрати в головному меню пункти **Вставить > Группа > светильников > Расположение полей**. У з'явившомуся вікні *Менеджера проекту* (рис. 7.17 а) натиснути кнопку **Вставить**.

3. В дереві *Менеджера проекту* обрати пункт *Структура полей* і у вікні інспектора на закладці **Позиции** (рис. 7.17 б) вказати необхідну кількість рядів та кількість світильників в ряду (5 і 3 відповідно). Також можна скористатись автоматичною розстановкою світильників задавшись необхідним рівнем

освітленості E на робочій поверхні і натиснувши кнопку **Предложение**.

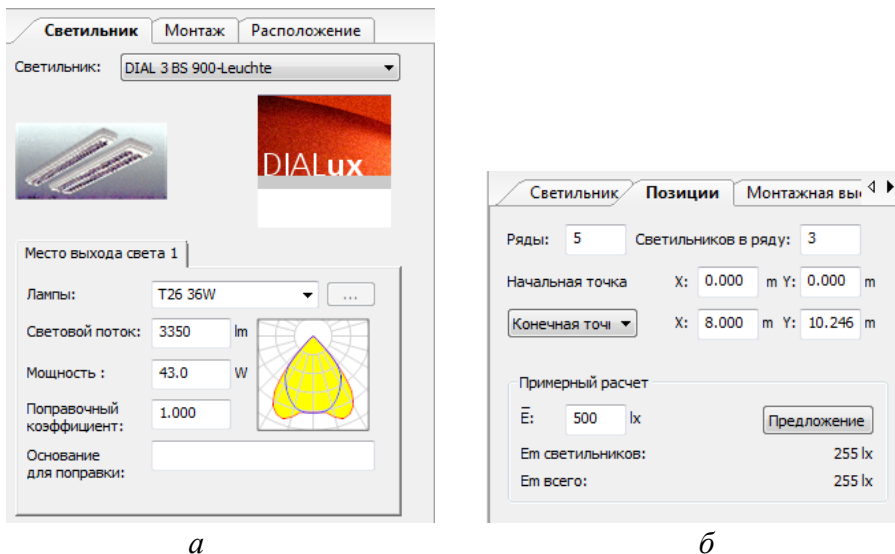


Рис. 7.17. Створення структури полів світильників

4. В дереві *Менеджера проектів* натиснути праву кнопку миші напроти щойно створеної *Структури полей* і у контекстному меню обрати пункт *Разделить*.

5. Створити новий елемент керування та додати його до нової сцени освітлення, при цьому вказавши коефіцієнт затемнення.

6. Вибираємо в дереві *Менеджера проектів* усі світильники і через контекстне меню додаємо до створеного елемента керування.

7. Обираємо в головному меню **Результаты** > **Запустить расчет** і у з'явившомуся вікні натискаємо кнопку **Ok**.

Результати розрахунку можна побачити у вікні CAD у вигляді трьохвимірної візуалізації (рис. 7.17).

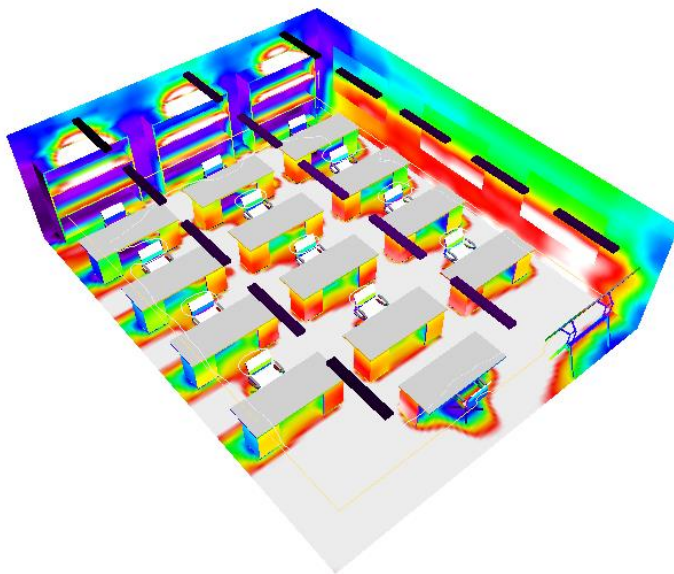


Рис. 7.17. 3D-візуалізація результатів розрахунку освітленості в DIALux

7.7. Побудова сцен освітлення в DIALux із урахуванням природного світла

DIALux підтримує розрахунок освітленості від природного світла. Крім того, існує можливість врахувати вплив природної освітленості при плануванні витрати електроенергії протягом робочого дня, скоординувати дії освітлювальних приладів у випадку зміни умов освітлення в ранкові та вечірні години.

Вплив природного світла може бути розрахований у внутрішніх та зовнішніх сценах. В DIALux представлені різні моделі неба (ясно, хмарно, частково хмарно), які так само, як і пряме сонячне світло впливають на розрахунок. Також в розрахунках враховується місцезнаходження, час, орієнтація і перешкоди для природного світла.

В зовнішніх сценах природне світло може бути розраховане завжди, у внутрішніх – коли в приміщенні наявні які-небудь вікна або верхнє світло.

Як основа для розрахунку в DIALux використовуються європейські стандарти DIN 5034 та CIE 110. У відповідності з ними купол неба поділено на параметризовані поверхні, що світяться, і які отримують яскравість в залежності від моделі неба, місцезнаходження, дати і часу. З допомогою опції **Прямой солнечный свет** проводиться розрахунок із сонцем як джерелом світла.

Розрахунок відбувається наступним чином:

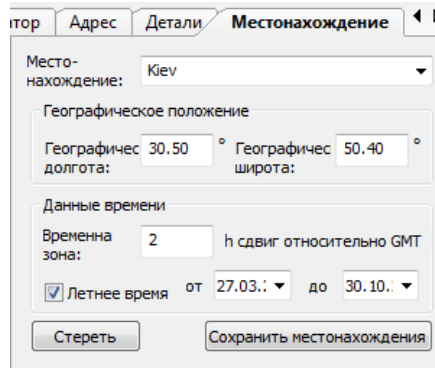
1. Розрахунок верхнього світла на усіх поверхнях (всередині та ззовні).
2. Розрахунок прямого сонячного світла на всіх поверхнях.
3. Розрахунок прямого світла світильників (якщо доступно).
4. Розрахунок опосередкованого компоненту.

DIALux не робить ніяких відмінностей в розрахунках всередині приміщень і для зовнішніх сцен, усі поверхні просто використовуються для чергування випромінювання. Розрахунок природного світла в DIALux здійснюється в тому випадку, якщо відповідна сцена освітлення наявна в проєкті.

7.7.1. Розрахунок освітлення з урахуванням природного світла. Якщо проєкт розпочато, то перш за все повинно бути визначено місцезнаходження об'єкту проєктування, задані координати (довгота, широта). Це можна зробити використавши базу даних розташованих в програмі DIALux об'єктів, або виконати необхідний ввід даних з подальшим їх збереженням.

На вкладці **Местонахождение** в *Инспекторе* користувач може обрати будь-яке місце для розміщення об'єкту проєктування (рис. 7.18).

Північний напрямок може бути визначений в кожному випадку для приміщення або зовнішньої сцени. Щоб легко його розпізнати, стрілка напрямку на північ з'являється біля початку координат. В приміщеннях вікна в стінах або вікна в даху повинні бути попередньо включені до планування. Вони можуть бути легко розміщені по лінії або у вигляді поля, якщо використовується функція **Копировать вдоль одной линии**.



Место-нахождение: Kiev

Географическое положение

Географическая долгота: 30.50 ° Географическая широта: 50.40 °

Данные времени

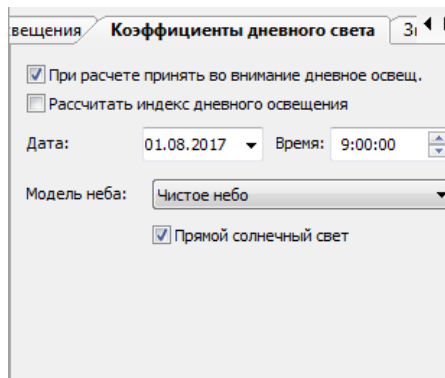
Временная зона: 2 h сдвиг относительно GMT

Летнее время от 27.03. до 30.10.

Стереть Сохранить местонахождение

Рис. 7.18. Вибір координат місцезнаходження об'єкту проектування

Вкладка **Коэффициенты дневного света** служить для визначення положення сонця при розрахунку природного світла. Можна зробити будь-які налаштування природного світла в *Инспекторі*. Для ввімкнення розрахунку природного світла в проект необхідно активувати перемикач **При расчете принять во внимание дневное освещение** (рис. 7.19).



Коэффициенты дневного света

При расчете принять во внимание дневное освещ.

Рассчитать индекс дневного освещения

Дата: 01.08.2017 Время: 9:00:00

Модель неба: Чистое небо

Прямой солнечный свет

Рис. 7.19. Вибір параметрів для розрахунку природного світла

Щоб розрахувати сцену освітлення з природним світлом, необхідні варіанти повинні бути вставлені в сцену освітлення.

Якщо перемикач **Рассчитать индекс дневного освещения** активовано, параметри налаштування зміняться наступним чином:

- хмарне небо;
- відсутнє пряме сонячне світло;
- ніякі світильники не розглядаються.

В результаті користувач отримує розрахунок, включаючи візуалізацію результатів впливу природного світла на освітленість робочої площини. Якщо користувач хоче знати вплив природного світла в інших положеннях, він може вставити відповідні розрахункові поверхні або розрахункові точки. В розрахунковому документі **Таблица значений на рабочей плоскости** можуть бути показані: фактор природного світла, яскравість в відповідних положеннях, процентне співвідношення впливу природного світла на освітленість обраних ділянок або точок.

DIALux дозволяє врахувати перешкоду при побудові сцен освітлення із урахуванням природного світла.

Для цього необхідно визначити її у вікні CAD. Перешкоду можна вставити, обравши **Обработать обустройство дневного освещения** в меню **Обработать** або натиснувши праву кнопку миші на приміщенні.

В сцені з перешкодою приміщення показане ззовні. Тепер об'єкти-перешкоди можуть бути заплановані довільно навкруги приміщення. Також приміщення може бути підняте, якщо це стосується, наприклад, кімнати на більш високому поверсі. Перешкода працює як екран для прямого світла, а також як джерело власної яскравості від освітлення, яке потрапляє на об'єкти перешкоди.

7.7.2. Візуалізація сонячного світла і тіні. Пряме потрапляння сонячного світла в приміщенні може моделюватись в реальному часі. Падіння променів світла із вікон і/або вікон в даху розраховується як функція місця, орієнтації, геометрії, дати і часу. Щоб звернутися до даної функції, необхідно натиснути кнопку



Визуализация света и тени на панелі інструментів. При установці візуалізації розповсюдження сонячного світла і розподілу тіні дата і час можуть бути змінені в реальному часі, і

може моделюватись напрямок падіння сонячного світла в приміщенні, як показано на рис. 7.20.

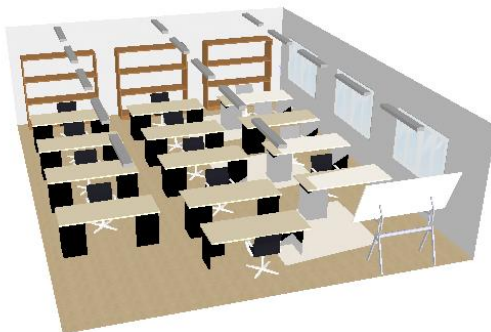
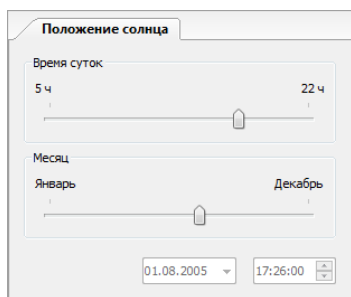


Рис. 7.20. Приклад візуалізації сонячного світла і тіні при заданих параметрах положення сонця з урахуванням календарної дати і поточного часу

Приклад візуалізації розрахунків сцени природного освітлення наведено на рис. 7.21.



Рис. 7.21. Візуалізація розрахунків сцени природного освітлення

7.8. Отримання результатів розрахунків в DIALux

Після того, як було проведено розрахунок, DIALux показує тривимірний вигляд сцени.

Проектні результати можуть бути переглянуті до або після розрахунку. Результати, які не визначаються розрахунком, можуть бути переглянуті в будь-який час. Це, наприклад, список світильників, координати світильників, координати приміщення та ін.

Більшість типів даних, що виводяться, спочатку повинні бути розраховані. Якщо спробувати відкрити один з них, коли ще відсутні результати, DIALux запитує, чи повинен бути виконаний розрахунок.

При подвійному натисненні на необхідній сторінці в *Менеджері проекту* на сторінці *Результати* вона відображається у вікні CAD (рис. 7.22).

The screenshot displays the DIALux 4.10 software interface. The main window shows a 3D perspective view of a room with several light fixtures (represented by purple circles) and a table of calculated lighting data. The table lists 15 fixtures with their respective coordinates and rotation values.

№	Позиція [m]			Вращение [°]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	1.333	1.025	2.800	0.0	0.0	0.0
2	1.333	3.074	2.800	0.0	0.0	0.0
3	1.333	5.123	2.800	0.0	0.0	0.0
4	1.333	7.172	2.800	0.0	0.0	0.0
5	1.333	9.222	2.800	0.0	0.0	0.0
6	4.000	1.025	2.800	0.0	0.0	0.0
7	4.000	3.074	2.800	0.0	0.0	0.0
8	4.000	5.123	2.800	0.0	0.0	0.0
9	4.000	7.172	2.800	0.0	0.0	0.0
10	4.000	9.222	2.800	0.0	0.0	0.0
11	6.667	1.025	2.800	0.0	0.0	0.0
12	6.667	3.074	2.800	0.0	0.0	0.0
13	6.667	5.123	2.800	0.0	0.0	0.0
14	6.667	7.172	2.800	0.0	0.0	0.0
15	6.667	9.222	2.800	0.0	0.0	0.0

The interface also shows a project manager on the left, a 3D scene view at the top, and a settings panel on the right. The status bar at the bottom indicates a total illuminance of 0.00 lx and a total luminous flux of 0.00 cd/m².

Рис. 7.22. Вивід результатів розрахунку на екран

DIALux дозволяє проводити вивід результатів на екран та на друк. Вивід на екран дозволяє експертам оцінити лише необхідну інформацію, не будучи обмеженими розміром і розташуванням сторінки. Великі таблиці показуються повністю і можуть бути переглянуті пролистуванням. Тут зручно користуватись середньою кнопкою миші (рис. 7.22).

Полоси прокрутки розташовані по краям екрану. Якщо ви використовуєте середню кнопку миші, з'являється значок *Прокрутка*, і ви можете керувати переглядом, перемішуючи мишу.

Також можна використовувати попередній перегляд друку, щоб роздивитись роздруківку на моніторі перед тим, як вона буде надрукована. DIALux підтримує режим *WYSIWYG*. Щоб перейти до попереднього перегляду друку необхідно використати опцію **Файл > Предварительный просмотр**. Слід зазначити, що лише результати, які відмічені «галочкою», включаються в попередній перегляд друку і в роздруківку.

Подібно до друку, в DIALux також є можливість експортувати результати в файл формату PDF. Після того, як була вибрана вся необхідна інформація, потрібно обрати меню **Файл > Экспортировать > Сохранить результат в формате PDF**. Це меню доступне лише у випадку, якщо хоча б одне вікно результатів активне. Далі необхідно вказати каталог і назву файлу PDF.

7.9. Енергетична оцінка проекту освітлення

Одним із найбільш важливих аспектів програми DIALux є можливість провести енергетичну оцінку проекту, що впливає на планування як всередині приміщення, так і в зовнішніх сценах. Споживання електричної енергії на потреби освітлення зростає і стає одним із найважливіших факторів в житті суспільства. Європейські держави встановили для себе мету: збільшення ефективності використання енергії і зниження виділення вуглекислого газу (CO₂). Подібні заходи є суттєвим кроком до зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу і зниження ризиків, пов'язаних зі змінами клімату.

Оцінюючи ту або іншу область споживання енергії, слід враховувати ту обставину, що виробництво електроенергії

безпосередньо пов'язане зі споживанням і переробкою природних ресурсів, і, як правило, спряжене з порушенням екологічної рівноваги в природі і потребує значних інвестицій. Підвищення енергоефективності освітлювальних установок нерозривно пов'язане із задачею комплексного зниження втрат, так як для споживача важливим є не лише зниження енергоємності, але і терміну окупності затрат на побудову освітлювальної системи. В результаті ефективність освітлювальних установок визначається вартістю освітлювальної енергії, що виробляється за строк експлуатації освітлювальних установок, і в значній мірі витратами на оплату електроенергії.

Загальновідомо, що витрати на покращення освітлювальних установок порівняно швидко окупаються за рахунок високої ефективності природного освітлення: знижується втомлюваність людини і підвищується продуктивність і якість праці, збільшується ефективність транспортних засобів і знижується кількість аварій і т.д. Неможливо переоцінити естетичну роль світла в архітектурі і містобудівництві.

Згідно даних світової статистики витрати електроенергії на освітлення в Україні є одними із найвищих в порівнянні з розвинутими країнами світу і являє собою великий потенціал для економії. При цьому нормативний і технічний стан внутрішнього і зовнішнього освітлення в цілому по країні не відповідає сучасним вимогам.

Штучне освітлення стає все більш ємким і мобільним носієм інформації, без якої неможливо уявити прогрес людської цивілізації в новому тисячолітті. Інформаційно-світлові медіа технології вже активно впливають на архітектуру і на створюване середовище, і з часом цей вплив буде лише посилюватись. Тому вони повинні вже сьогодні враховуватись при розробці містобудівних і промислових проектів. При економічному порівнянні варіантів освітлення слід пам'ятати, що найбільш коштовна складова витрат на освітлення – це споживана освітлювальною установкою електроенергія; друга по величині складова приведених витрат – це заміна перегорівших ламп новими.

DIALux в теперішній час може забезпечити повну підтримку планування освітлення у відповідності з європейськими стандартами DIN 18599 та EN 15193 і при необхідності провести енергетичну оцінку освітлення. Для проведення енергетичної оцінки засобами DIALux необхідно скористатись відповідним меню *Провідника*, де потрібно налаштувати всі необхідні параметри (рис. 7.23).

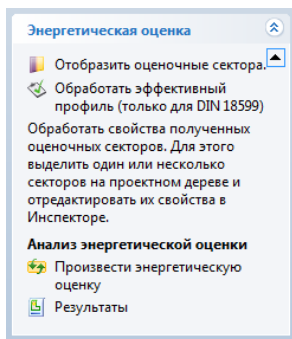


Рис. 7.23. Меню *Провідника* для проведення енергетичної оцінки проекту

Приклад результатів енергетичної оцінки проекту згідно стандарту EN 15193 наведено на рис. 7.24.

Энергетическая оценка / Резюме

Энергетическая оценка соот. следующему стандарту: EN 15193
 Местность: Киев, Географическая долгота: 30.50°, Географическая широта: 50.40°

Результаты

Полная энергия Освещение: 1349.97 kWh/a
 LEN: 16.47 kWh/(a · m²)

Полная энергия Зеркальное задание: 1349.97 kWh/a
 Полная энергия Паразитн. (Всего): 0.00 kWh/a
 Полная энергия Паразитн. (Резервный режим): 0.00 kWh/a
 Полная энергия Паразитн. (Загрузка аварийного освещения): 0.00 kWh/a
 Общая площадь: 81.97 m²

Месячные итоги

Месяц	Освещение		Зеркальное задание		Паразитн.	
	[kWh]	[kWh/m²]	[kWh]	[kWh/m²]	[kWh]	[kWh/m²]
Янв	116.72	1.42	116.72	1.42	0.00	0.00
Февр	114.78	1.40	114.78	1.40	0.00	0.00
Мрт	112.42	1.37	112.42	1.37	0.00	0.00
Апр	110.14	1.34	110.14	1.34	0.00	0.00
Май	109.29	1.33	109.29	1.33	0.00	0.00
Июн	108.79	1.33	108.79	1.33	0.00	0.00
Июл	108.87	1.33	108.87	1.33	0.00	0.00
Авг	109.55	1.34	109.55	1.34	0.00	0.00
Сен	111.57	1.36	111.57	1.36	0.00	0.00
Окт	113.94	1.39	113.94	1.39	0.00	0.00
Ноя	116.47	1.42	116.47	1.42	0.00	0.00
Дек	117.57	1.43	117.57	1.43	0.00	0.00

Список затронутых зон:
 • Зона 1

Рис. 7.24. Результати енергетичної оцінки проекту освітлення в DIALux

7.10. Розрахунок вуличного освітлення

Програмний комплекс DIALux дозволяє досить зручно та швидко виконувати світлотехнічний розрахунок освітлення стандартних вулиць. Загальний підхід до розрахунку вуличного освітлення в DIALux є таким же, як і для випадку розрахунку внутрішнього освітлення приміщень. Тому коротко зупинимось лише на особливостях розрахунку вуличного освітлення в DIALux, що є відмінними від розрахунку сцен внутрішнього освітлення.

Порядок розрахунку сцен вуличного освітлення в DIALux наступний.

Після запуску DIALux з'являється діалогове вікно початку роботи в DIALux. (рис. 7.25). В ньому необхідно обрати пункт *Новий проект для улицы*

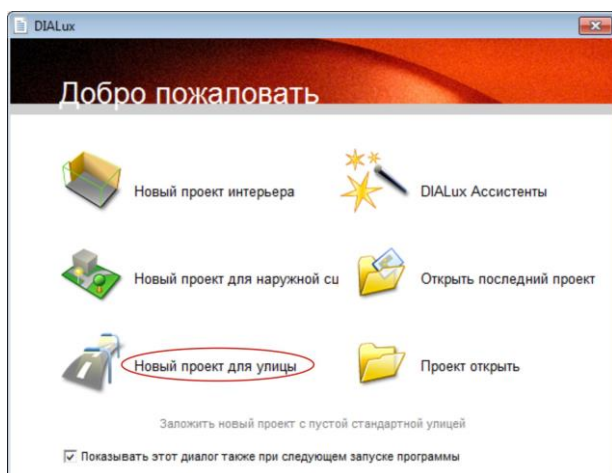


Рис. 7.25. Діалогове вікно початку роботи в DIALux.

Після цього на екрані з'явиться вікно пустого проекту для розрахунку вуличного освітлення, аналогічне зображеному на рис. 7.2. Відмінністю є те, що у вікні CAD відображається ескіз проїзної частини (рис. 7.26).

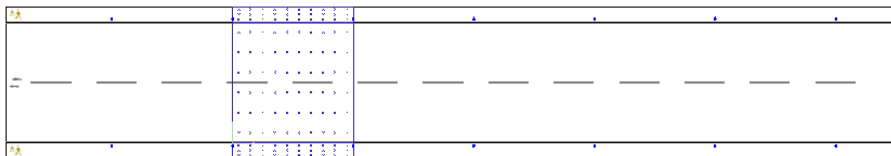


Рис. 7.26. Ескіз проїзної частини дороги, зображений у вікні CAD DIALux

Далі необхідно ввести вихідні дані та виконати всі налаштування для розрахунку. Найзручніше для цього скористатись *Менеджером проекту з інспектором*.

Перш за все в *Інспекторі* слід обрати пункт «Вулиця» (рис. 7.27).

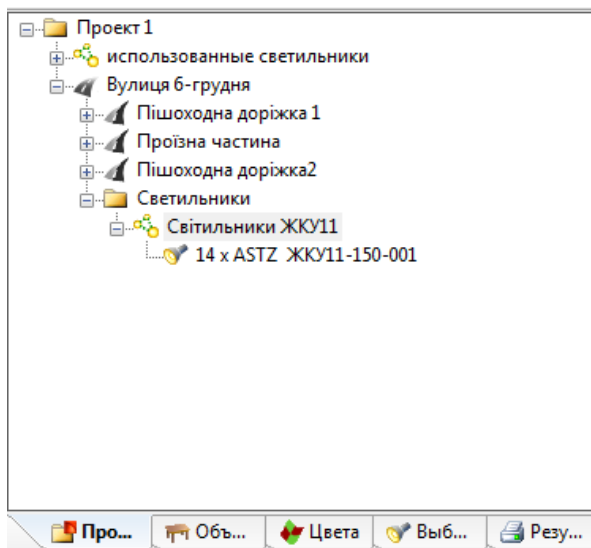


Рис. 7.27. Зовнішній вигляд інспектора менеджера проекту зовнішнього освітлення

Після цього в Меню властивостей (як правило, розташовано вище вікна інспектора) необхідно заповнити загальну інформацію проекту вуличного освітлення (рис. 7.28).

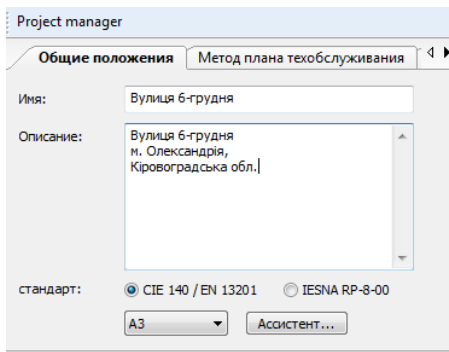


Рис. 7.28. Загальна інформація проекту вуличного освітлення

Параметри конфігурації дороги (наявність окрім проїзної частини тротуарів, смуг стоянки, зелених смуг та порядок їх розташування) задаються в розділі меню *Расположение* (рис. 7.29).

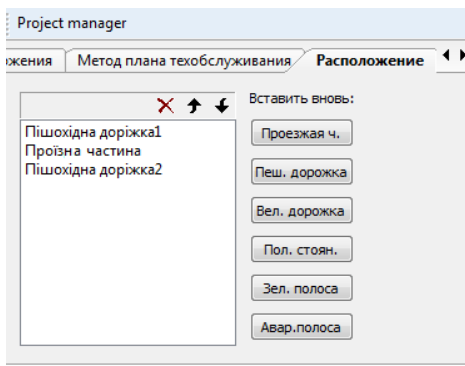
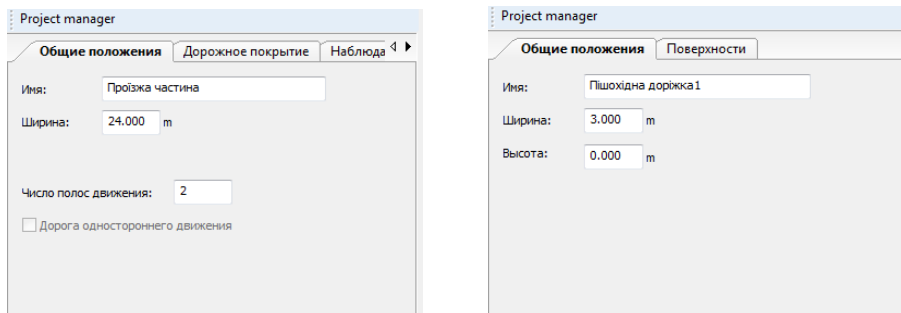


Рис. 7.29. Параметри конфігурації дороги

Після визначення конфігурації дороги слід перейти до введення параметрів кожного з її елементів.

Обравши в меню *инспектора* (рис. 7.27) пункт відповідний пункт («Проїзна частина», «Пішохідна доріжка» та ін.) необхідно послідовно заповнити поля у вікні властивостей кожного з обраних елементів (ширина проїзної частини або тротуару, кількість смуг руху та ін.), як показано на рис. 7.30.



а

б

Рис. 7.30. Вікно вводу параметрів проїзної частини (а) та тротуару (б)

Після визначення конфігурації дороги та введення всіх необхідних параметрів необхідно визначити параметри освітлювальних приладів. Для цього перш за все необхідно додати до проекту тип освітлювальних приладів, для яких необхідно виконати світлотехнічний розрахунок. Порядок додавання освітлювальних приладів до проекту зовнішнього освітлення є аналогічним, описаному вище для сцен внутрішнього освітлення.

Далі необхідно вказати програмі який саме тип освітлювальної установки буде використовуватись при розрахунку. Найзручніше це зробити «перетягнувши» пункт меню *інспектора* із назвою світильника у вікно CAD програми.

Після цього необхідно задати конфігурацію та параметри освітлювальних установок. Для цього, як і у попередньому випадку, в інспекторі об'єктів обирається пункт із назвою групи світильників і у вікні властивостей заповнюються відповідні пункти меню (рис. 7.31).

Для того, щоб виконати розрахунок, необхідно обрати пункти головного меню **Результаты > Запустить расчет**.

Після закінчення розрахунку стануть доступні його результати. Порядок отримання результатів розрахунку є аналогічним описаному у п.7.8 даного посібника.

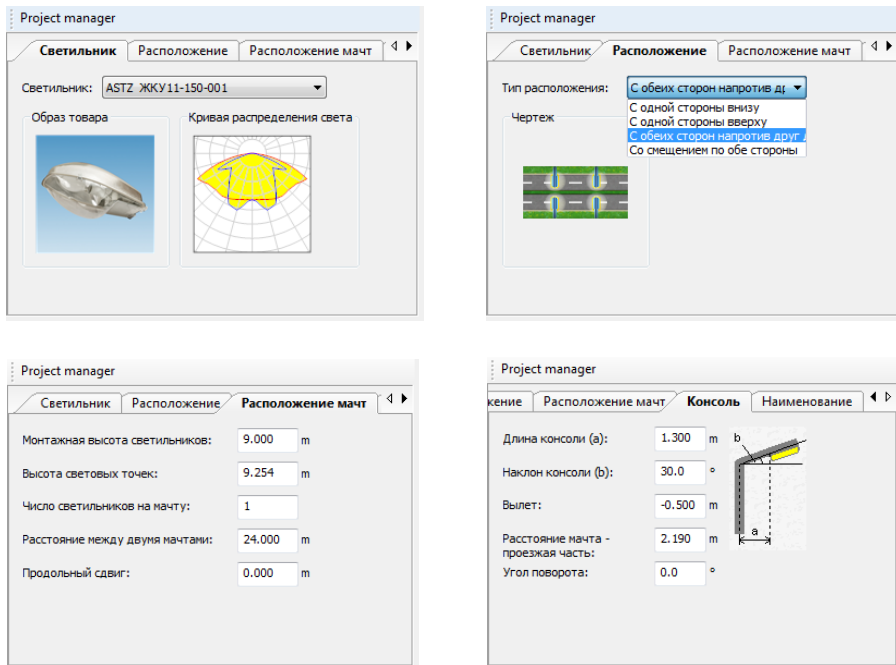


Рис. 7.31. Параметры осветительных установок

На рис. 7.30 наведено розрахункові значення рівня освітленості проїзної частини ділянки вулиці, а на рис. 7.31 – тривимірну візуалізацію рівня освітленості проїзної частини вулиці (фіктивні кольори).

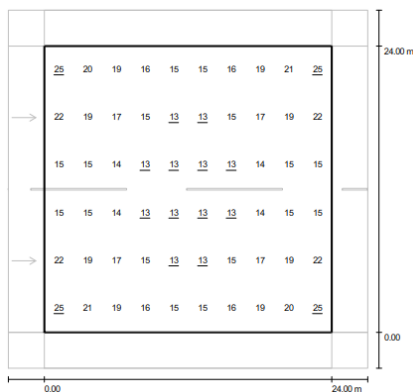


Рис. 7.30. Розрахункові значення рівня освітленості проїзної частини ділянки вулиці

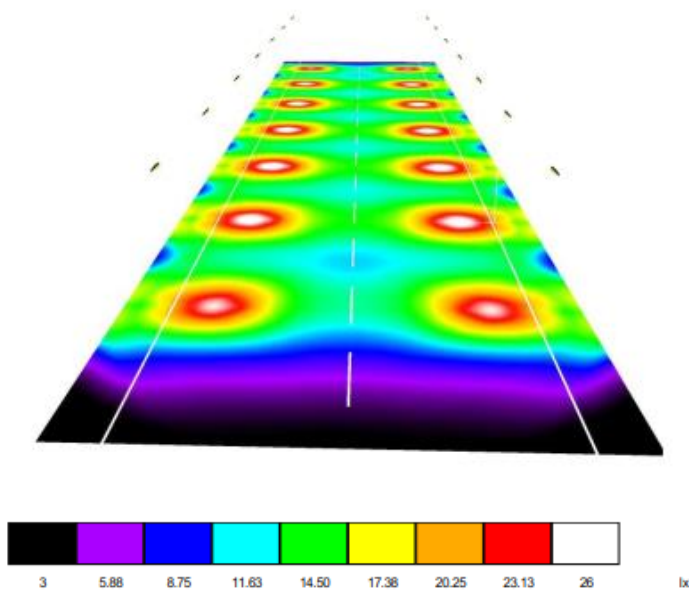


Рис. 7.31. Тривимірна візуалізація рівня освітленості проїзної частини вулиці (фіктивні кольори)

РОЗДІЛ 8

**ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА
СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ**

Структура електротехнічної частини проекту, що направлена на виконання проектування освітлювальної електричної мережі, включає вибір напруги і джерела живлення освітлювальної установки, вибір і обґрунтування схеми живлення, марки провідників, перерізу провідників, способів їх прокладки і т.д.

8.1. Джерела живлення та напруга освітлювальних мереж

Для світильників загального освітлення дозволяється застосовувати напругу:

- не вище 380/220В змінного струму – у випадку мережі із заземленою нейтраллю;
- 220 В – у випадку мережі з ізольованою нейтраллю.

Для світильників місцевого стаціонарного освітлення з лампами розжарювання повинна застосовуватися напруга:

- у приміщеннях без підвищеної небезпеки не вище 220 В;
- у приміщеннях з підвищеною небезпекою не вище 50 В.

Для ручних переносних світильників в приміщеннях з підвищеною небезпекою повинна застосовуватися напруга не вище 50 В. У особливо несприятливих умовах, коли небезпека враження струмом посилюється тісністю, ймовірністю зіткнення із заземленими металевими поверхнями, повинна застосовуватися напруга не вище 12 В.

Напруга більшості джерел світла, які випускаються промисловістю, не перевищує 220 В, що відповідає вимогам електробезпеки. Для газорозрядних ламп, розрахованих на напругу 380 В, допускається застосовувати лінійну напругу системи 380/220 В і фазну напругу системи 660/380 В. При цьому це можливо лише при дотриманні наступних умов: виконання вводу в освітлювальний прилад провідниками з ізоляцією на напругу не

менше 660 В; виконання вводу в освітлювальний прилад двох і трьох різних фаз системи 660/380 В забороняється.

Освітлювальні мережі, зазвичай, не поєднуються з силовими мережами. Як правило, живлення освітлювальних установок проводиться від загальних для силових і освітлювальних мереж трансформаторів на напрузі 380/220 В при глухому заземленні нейтралі. Область застосування самостійних освітлювальних трансформаторів обмежується випадками, коли характер силового навантаження промислових підприємств (потужні зварювальні апарати, частий пуск потужних електродвигунів) не дозволяє при сумісному живленні забезпечити необхідну якість напруги для освітлювальних установок.

Якщо силові електроприймачі живляться від мережі напругою 660/380 В із заземленою нейтраллю, то до цієї ж мережі можуть бути приєднані світильники, розраховані на напругу 380 В (газорозрядні лампи). Живлення ж решти освітлювальних приладів проводиться від проміжних трансформаторів напругою 660/380 В або від окремих трансформаторів напругою 10(6)/0,4 кВ.

При вирішенні питань живлення аварійного освітлення необхідно враховувати вимоги СНіП і ПУЕ. В них указується, що світильники аварійного освітлення безпеки (для продовження робіт), а також світильники евакуаційного освітлення в приміщеннях без природного світла повинні приєднуватися до незалежного джерела або перемикатися на нього автоматично при раптовому відключенні робочого освітлення (рис. 8.1, а, б).

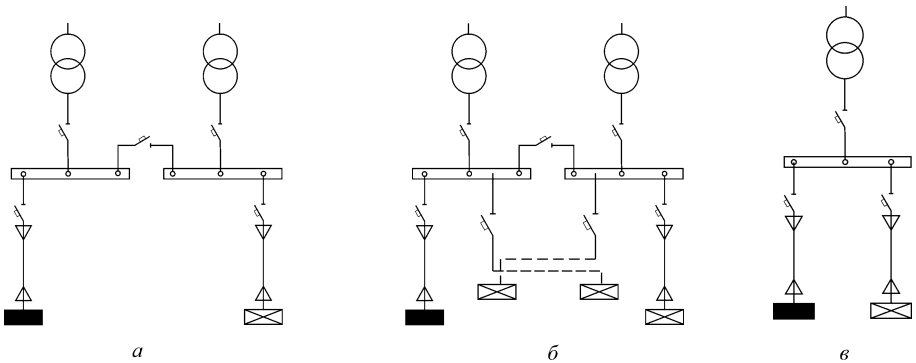


Рис. 8.1. Варіанти живлення робочого і аварійного освітлення

Світильники евакуаційного освітлення в приміщеннях з природнім світлом приєднуються до мережі, незалежної від мережі робочого освітлення, починаючи від розподільчого пристрою підстанції або від вводу в будівлю (рис. 8.1, в).

8.2. Вибір схем електричних освітлювальних мереж

Узагальнену структурну схему електричної освітлювальної мережі наведено на рис. 8.2.

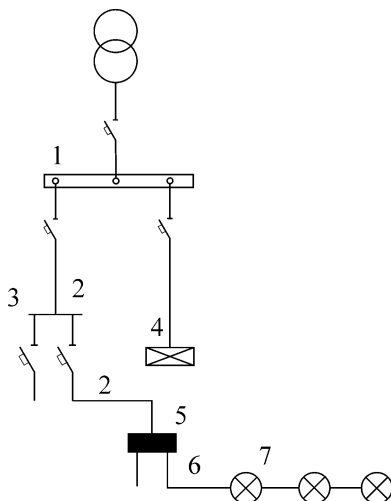


Рис. 8.2. Структурна схема освітлювальної мережі:

- 1 – розподільчий пристрій трансформаторної підстанції;
- 2 – мережа; 3 – магістральний щиток, 4 – щиток аварійного освітлення; 5 – групові щитки робочого освітлень; 6 – групова освітлювальна мережа, 7 – джерела світла.

При реалізації конкретних схем живлення освітлювальних установок ті або інші ланки можуть бути відсутніми.

Як показано на рис. 8.2, мережі освітлення поділяються на живлячі мережі і групові мережі. До живлячої мережі відносяться лінії від трансформаторних підстанцій або інших точок живлення до групових щитків, до групової мережі – лінії від групових щитків до освітлювальних приладів.

На початку кожної живлячої лінії встановлюються апарати захисту і керування. На початку групової лінії обов'язковий апарат захисту, а апарат керування може не встановлюватися у випадку наявності таких апаратів по довжині лінії або у випадку, коли керування освітленням здійснюється апаратами, встановленими в лініях живлячої мережі.

Магістральні освітлювальні щитки отримують живлення однією потужною лінією від підстанції і здійснюють розподіл електроенергії між приєднаними до них груповими щитками. Наявність в схемі магістральних щитків дозволяє зробити складну розгалужену мережу гнучкішою і структурованою. Це також дозволяє уникнути надмірного ускладнення розподільчого пристрою підстанції.

Групові щитки, в яких встановлюються апарати захисту і керування для групових ліній, призначені для живлення безпосередньо освітлювальних приладів.

При розміщенні в приміщенні групових щитків, слід керуватися наступними положеннями:

- для зменшення протяжності групової мережі і витрати провідникового матеріалу групові щитки розташовують в центрі навантаження;
- для зручності обслуговування щитки розташовують в місцях, досяжних для обслуговуючого персоналу.

Схеми живлячих мереж відрізняються достатньою різноманітністю. При цьому можуть бути використані як радіальні, так і магістральні схеми живлення. Відмінності між цими схемами, з погляду області застосування, незначні. В основному, при вирішенні питання живлення освітлювальних установок керуються компоновкою приміщень. Часто окремими лініями слід живити виробничі ділянки або цехи. При цьому, з одного боку, при використанні великого числа радіальних ліній збільшується загальна протяжність мереж, а з іншого боку – при використанні магістралей можуть понаднормово зростати перетини провідників. На рис. 8.3 наведено схеми освітлення, що найчастіше зустрічаються при сумісному живленні освітлювальних установок і силових електроприймачів від загальних трансформаторів.

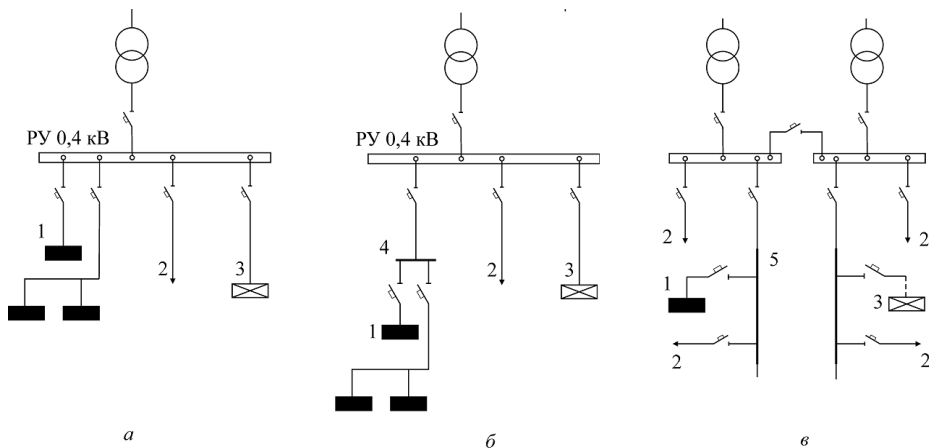


Рис. 8.3. Схеми живлення освітлювальних мереж:

а – схема живлення безпосередньо від щита підстанції;

б – схема живлення через магістральний щиток;

в – схема живлення блок-трансформатор-магістраль:

1 – групові щитки робочого освітлення; 2 – відхідні лінії силових електроприймачів, 3 – щитки аварійного освітлення; 4 – магістральні освітлювальні щити, 5 – головні магістралі.

При розподілі світильників між лініями групової мережі слід керуватися встановленими ПУЕ граничними даними по максимальному струму апаратів і числу підключених світильників. Наприклад, в кожен фазу групової лінії включаються не більше 20 ламп розжарювання, ДРІ, або не більше 60... 100 люмінесцентних ламп залежно від максимальної одиничної потужності джерела світла.

Групові лінії виконують одно-, двох- і трифазними. Збільшення фазності, як було раніше вказано, дозволяє зменшити рівень пульсацій освітленості. На рис. 8.4 показано варіанти таких схем групових мереж.

Найбільш поширеним варіантом схеми підключення освітлювальних приладів до фаз групової лінії є варіант з послідовним чергуванням фаз (А-В-С-А-В-С...). Даний варіант найбільш оптимальний з погляду як зниження пульсацій освітленості, так і рівномірності розподілу освітленості. До того ж за такого варіанту підключення освітлювальних приладів зводиться до мінімуму їх вплив на рівні несиметрії напруги в мережі.

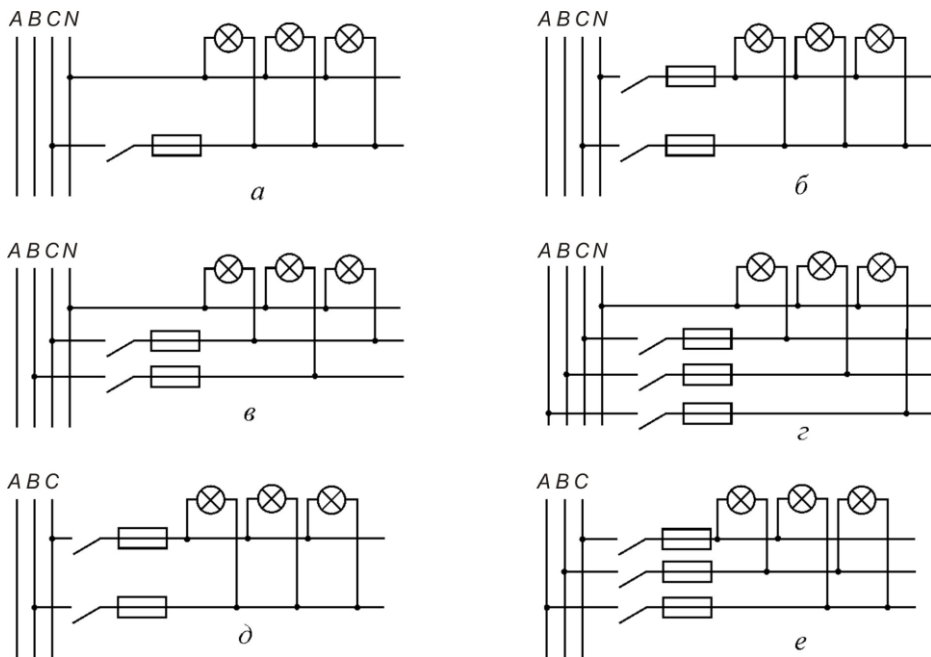


Рис. 8.4. Схеми групових мереж:

a, б – двопровідна однофазна; *в* – трипровідна двофазна з нульовим проводом; *г* – чотирьохпровідна трифазна з нульовим проводом; *д* – двопровідна двофазна; *е* – трипровідна трифазна.

8.3. Електротехнічний розрахунок освітлювальних мереж

Вихідними даними до електротехнічного розрахунку освітлювальних мереж є результати світлотехнічного розрахунку: кількість світильників, їх номінальна потужність, загальна встановлена потужність світильників та їх розміщення.

При виконанні освітлювальних мереж висувається ряд обов'язкових вимог, які повинні бути враховані: надійність, довговічність, пожежебезпе́чність, економічність, а також зручність експлуатації мереж.

До основних питань, що вирішуються під час розрахунку освітлювальних мереж, належать наступні: визначення способу конструктивного виконання мережі, вибір марки провідників,

розрахунок перетину провідників, вибір захисних комутаційних апаратів.

Конструктивне виконання освітлювальних мереж. У якості провідникового матеріалу для виконання мереж застосовуються алюміній і мідь. Найбільшого поширення набули дроти і кабелі з алюмінієвими жилами, насамперед через свою більш низьку вартість, в порівнянні з мідними. Застосування мідних провідників, що мають дещо кращі характеристики (менший питомий опір, більша механічна міцність), як правило, рекомендується в приміщеннях з хімічно агресивним середовищем, з великим рівнем вібрації, у вибухонебезпечних приміщеннях, а також в житлових будівлях.

Основні рекомендації по використанню конкретних видів і марок провідників залежно від характеристики навколишнього середовища і особливостей приміщення приводяться в нормативно-технічній літературі. Серед найбільш поширених видів електропроводки можна відзначити наступні (провідники з алюмінієвими жилами):

- незахищені ізольовані проводи (АПРТО, АПВ, АРТВ);
- захищені проводи (АПРФ);
- кабелі (АВВГ, АВРГ, АНРГ);
- освітлювальні шинопроводи (ШОС).

Слід зазначити, що маркування проводів з мідними жилами відрізняється від вищеперерахованих відсутністю на початку літери «А».

Існують два основні варіанти прокладання проводів освітлювальної мережі: відкритим і прихованим способом.

В сучасних освітлювальних мережах, що застосовуються в суспільних, адміністративно-побутових, інженерно-лабораторних і інших подібних будівлях повинне застосовуватися приховане прокладання проводів. Як правило, прихована проводка виконується в наявних каналах і порожнечях будівельних конструкцій, в зазорах між плитами, в шарі штукатурки, в спеціально підготовлених борозках і т.д. При необхідності виконання освітлювальної мережі із змінюваною проводкою можливе прокладання її в поліетиленових або сталевих трубах.

Для виробничих і допоміжних будівель слід застосовувати відкриту проводку. При цьому може застосовуватись спосіб прокладання кабелів і захищених проводів безпосередньо по будівельних конструкціях будівлі, прокладання незахищених ізольованих проводів в лотках, коробах, трубах, виконання мереж за допомогою шинопроводів. Визначальним чинником у виборі виду прокладання проводів освітлювальної мережі відкритим способом є характеристика навколишнього середовища.

Розрахунок електричного освітлювального навантаження. Залежно від характеру виробництва і призначення приміщень частина ламп з різних причин зазвичай не ввімкнена, тому при розрахунку мереж електричного освітлення користуються розрахунковою потужністю, яка визначається з використанням коефіцієнта попиту:

$$P_p = nP_{\text{ном}}K_{\text{п}}K_{\text{ПРА}}, \quad (8.1)$$

де n – кількість ламп, шт.;

$P_{\text{ном}}$ – номінальна активна потужність однієї лампи, кВт;

$K_{\text{п}}$ – коефіцієнт попиту;

$K_{\text{ПРА}}$ – коефіцієнт, що враховує втрати в пускорегулюючій апаратурі.

Для люмінесцентних ламп зі схемою стартерного вмикання $K_{\text{ПРА}} = 1,2$, при безстартерних схемах $K_{\text{ПРА}} = 1,3-1,35$, для ламп ДРЛ $K_{\text{ПРА}} = 1,12$.

Коефіцієнти попиту для деяких об'єктів приведені в табл. 8.1.

Реактивна потужність освітлювальної установки обчислюється за формулою:

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg}\varphi. \quad (8.2)$$

Коефіцієнт реактивної потужності $\text{tg}\varphi$ визначається типом освітлювального приладу. Для ламп розжарювання $\text{tg}\varphi = 0$, для газорозрядних ламп при використанні компенсованих схем корегуючих пристроїв $\text{tg}\varphi = 0,9...0,95$, без компенсації реактивної потужності $\text{tg}\varphi = 0,5...0,75$.

Таблиця 8.1. Значення коефіцієнту попиту K_{Π}
для робочого освітлення

№ з/п	Характеристика об'єкта	Коефіцієнт попиту K_{Π}
1.	Групова мережа та всі ланцюги аварійного освітлення, дрібні виробничі приміщення, торговельні приміщення, зовнішнє освітлення	1
2.	Виробничі будівлі, які складаються із окремих великих прольотів	0,95
3.	Бібліотеки, адміністративні споруди та підприємства громадського харчування	0,9
4.	Виробничі будівлі, які складаються із декількох приміщень	0,85
5.	Адміністративно-побутові будівлі, інженерно-лабораторні корпуси	0,8
6.	Складські будівлі і електричні підстанції, що складаються з великої кількості окремих приміщень	0,6

Вибір перетинів провідників за умовою нагріву. В залежності від кількості фаз освітлювальної мережі розрахунковий струм провідника визначається по формулах:

- для однофазної мережі:

$$I_p = \frac{P_p}{U_{\phi} \cos \varphi}; \quad (8.3)$$

- для двофазної мережі:

$$I_p = \frac{P_p}{2U_{\phi} \cos \varphi}; \quad (8.4)$$

- для трифазної мережі:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3}U_{\text{л}} \cos \varphi}, \quad (8.5)$$

де P_p – активна розрахункова потужність навантаження однієї, двох або трьох фаз відповідно;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності навантаження;

$U_{\text{л}}, U_{\text{ф}}$ – лінійна і фазна напруга мережі відповідно.

Відповідно до розрахункового струму по довідковій літературі визначається тривало допустиме струмове навантаження провідника. При цьому згідно ПУЕ перетин нульових робочих провідників трифазних живлячих і групових ліній повинен вибиратися:

- для ділянок мережі, по яких протікає струм від газорозрядних ламп з компенсованими пускорегулюючими апаратами, а також при захисті трифазних освітлювальних живлячих і групових ліній запобіжниками або однополюсними автоматичними вимикачами при будь-яких джерелах світла, перетин нульових робочих провідників слід приймати рівним перетину фазних провідників;

- для ділянок мережі, по яких протікає струм від газорозрядних ламп з некомпенсованими пускорегулюючими апаратами – не менше половини перетину фазних провідників при великих перетинах, але не менше 1,6 мм² для мідних і 2,5 мм² для алюмінієвих проводів.

Вибір перетинів провідників по втраті напруги. Освітлювальні установки, що застосовуються в мережах електричного освітлення, вельми чутливі до відхилень напруги. Тому в освітлювальних мережах важливо забезпечити допустимий рівень напруги, вказаний ПУЕ.

Загальна втрата напруги в мережі до найбільш віддаленого світильника:

$$\Delta U_{\text{л}} = U_{\text{xx}} - U_{\text{min}} - \Delta U_T, \quad (8.6)$$

де $\Delta U_{\text{л}}$ – загальна втрата напруги в мережі до найбільш

віддаленого світильника;

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

U_{\min} – припустима величина напруги у найбільш віддаленого світильника;

ΔU_T – втрата напруги в трансформаторі.

У виразі (8.6) напруга холостого ходу трансформаторів приймається рівною 105 % номінального значення напруги освітлювального пристрою. Зниження напруги, що допускається згідно ГОСТ 13109-97 на затискачах ламп світильників робочого освітлення промислових будівель складає 2,5%.

Як видно, у формулі загальної втрати напруги в мережі (8.6), змінною є лише величина ΔU_T , яка залежить від потужності живлячого трансформатора, його завантаження і коефіцієнта потужності мережі. Визначені по формулі (8.6) значення ΔU_L з урахуванням даних про загальне розрахункове навантаження трансформаторної підстанції, від якої живлять освітлювальні мережі, приводяться в довідниковій літературі.

Перш ніж перейти до безпосереднього розрахунку перетину лінії, розглянемо випадок визначення втрати напруги в двохпровідній мережі (рис. 8.5).

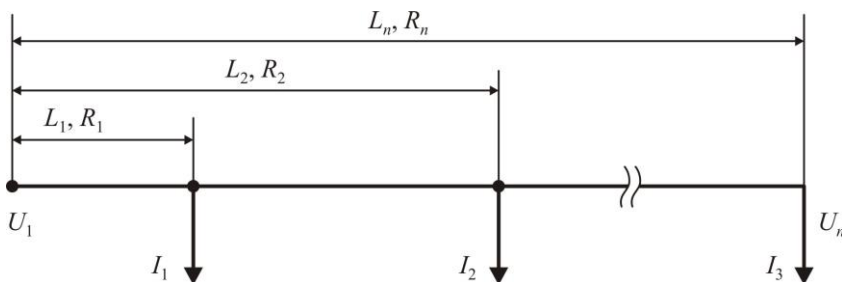


Рис. 8.5. Однолінійна схема двохпровідної лінії

Втрата напруги в двохпровідній лінії дорівнює різниці абсолютних величин напруги на початку і кінці лінії. При цьому для визначення втрати напруги в двохпровідній мережі досить визначити втрату напруги в одному дроті і отриманий результат

подвоїти.

Для лінії з n відгалуженнями:

$$\Delta U_{\text{л}} = 2 \sum_{i=1}^n I_i R_i, \quad (8.7)$$

де I – струми у відгалуженнях лінії;

R – опори проводів від початку лінії до відповідного відгалуження.

Вважаючи перетин і матеріал проводів уздовж всієї лінії однаковими, отримаємо вираз для визначення втрати напруги:

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{2}{\gamma S} \sum_{i=1}^n I_i L_i, \quad (8.8)$$

де γ – провідність проводів;

S – перетин ділянок лінії;

L – довжина проводів від початку лінії до відповідного відгалуження.

Втрата напруги в лінії у відсотках від номінальної напруги визначається по формулі:

$$\Delta U_{\text{л}} \% = 2 \frac{100}{\gamma S U_{\text{н}}^2} \sum_{i=1}^n I_i L_i. \quad (8.9)$$

Перейшовши у виразі (8.9) від струмів до заданих потужностей відгалужень, отримуємо остаточний вираз для визначення втрати напруги в лінії:

$$\Delta U_{\text{л}} \% = 2 \frac{100}{\gamma S U_{\text{н}}^2} \sum_{i=1}^n P_i L_i, \quad (8.10)$$

де P – потужність електроприймачів кожного відгалуження.

Всі приведені формули справедливі і для трифазних мереж. 3

урахуванням виразу (8.10) перетин лінії, розрахований по втраті напруги, можна визначити таким чином:

$$S = \frac{M}{C \Delta U_{\text{л.доп}}}, \quad (8.11)$$

де M – момент навантаження;

$\Delta U_{\text{л.доп}}$ – максимально допустиме значення спаду напруги в лінії;

C – коефіцієнт, що залежить від напруги і матеріалу провідника і включає постійні величини виразу (8.10).

Можливі значення C приведені в табл. 8.2.

Таблиця 8.2. Значення коефіцієнта C

№ з/п	Номинальна напруга мережі, В	Система мережі і рід струму	Значення коефіцієнту C для провідників	
			мідних	алюмінієвих
1.	380/220	Трифазна з нулем	72	44
2.	380	Трифазна без нуля	72	44
3.	220/127	Трифазна з нулем	24	14,7
4.	220	Трифазна без нуля	24	14,7
5.	36		0,648	0,396
6.	24		0,288	0,176
7.	12		0,072	0,044
8.	380/220	Трифазна з нулем	32	19,5
9.	220/127		10,7	6,5
10.	220	Двохпровідна змінного або постійного струму	12	7,4
11.	127		4	2,46
12.	36		0,324	0,198
13.	24		0,144	0,088
14.	12		0,036	0,022

Ілюстрація до визначення моментів M приведена на рис. 8.6.

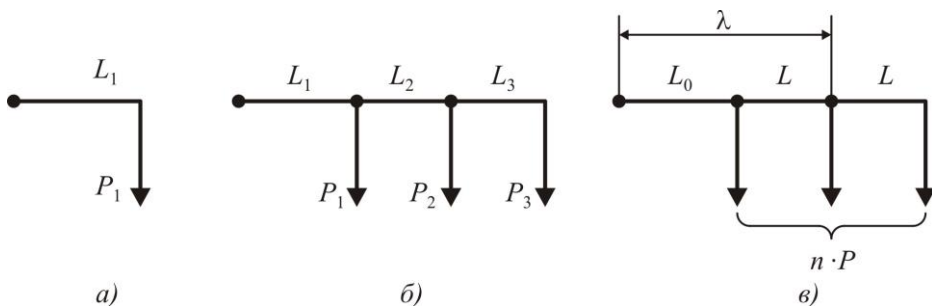


Рис. 8.6. Ілюстрація до визначення моментів навантаження

Визначення моментів навантаження, для схем, що приведені на рис. 8.6 виконується наступним чином:

- для схеми рис. 8.6 а):

$$M = P_1 L_1; \quad (8.12)$$

- для схеми рис. 8.6 б):

$$\begin{aligned} M &= P_1 L_1 + P_2 (L_1 + L_2) + P_3 (L_1 + L_2 + L_3) = \\ &= L_1 (P_1 + P_2 + P_3) + L_2 (P_1 + P_2) + L_3 P_3; \end{aligned} \quad (8.13)$$

- для схеми рис. 8.6 в):

$$M = nP \left[L_0 + \frac{L(n-1)}{2} \right] = nP\lambda, \quad (8.14)$$

де λ – довжина, що приведена до центру навантаження.

Якщо окремі ділянки мережі виконані провідниками різного перерізу, то виникає завдання найбільш економічного розподілу втрат напруги між окремими ланками мережі. При цьому розрахунок слід проводити за умовами загального мінімуму витрати провідникового матеріалу. В цьому випадку перетин кожної ділянки визначається з урахуванням приведеного моменту:

$$M = \sum_{i=1}^n M_i + \alpha \sum_{i=1}^n m_i, \quad (8.15)$$

де $\sum_{i=1}^n M_i$ – сума моментів даного і всіх подальших ділянок з тим же числом проводів в лінії; $\sum_{i=1}^n m_i$ – сума моментів, що живляться через дану ділянку ліній з іншим числом проводів; α – коефіцієнт приведення моментів (табл. 8.3).

Таблиця 8.3. Значення коефіцієнта α

№ з/п	Лінія	Відгалуження	Коефіцієнт приведення α
1.	Трифазна чотирипровідна	Однофазне	1,85
		Двофазне трипровідне	1,39
2.	Двофазна трипровідна	Однофазне	1,33
3.	Трифазна трипровідна	Двопровідне	1,15

Таким чином, основна задача електротехнічного розрахунку освітлювальних мереж полягає в виборі таких перерізів проводів та кабелів, які допускають протікання розрахункового струму освітлювального навантаження та мають достатню механічну міцність. Важливою умовою розрахунку електричних освітлювальних мереж є забезпечення допустимого відхилення напруги на затискачах освітлювальних установок.

В якості прикладу далі наводиться розрахунок освітлювальної мережі за умовою втрати напруги для промислового споживача (механічного цеху). Вважається, що для ламп ДРЛ виконується індивідуальна компенсація реактивної потужності і споживання реактивної потужності не враховується. В прикладі

використовуються лампи ДРЛ потужністю 700 Вт, з врахуванням втрат потужності в ПРА, потужність однієї лампи становить: $P_{\text{л}} = K_{\text{ПРА}} P'_{\text{л}} = 1,12 \cdot 0,7 = 0,784$ кВт. Живлення освітлювальної мережі здійснюється від силового трансформатора ТМ-630/10 із паспортними даними: $\Delta P_{\text{к.з.}} = 7,6$ кВт, $U_{\text{к}} = 5,5\%$.

Мінімальна допустима напруга освітлювальної установки $U_{\text{min}} = 97,5 U_{\text{н}}$, $U_{\text{хх}} = 105\% U_{\text{н}}$.

Схема освітлювальної мережі для ЩО-1 приведена на рис. 8.7.

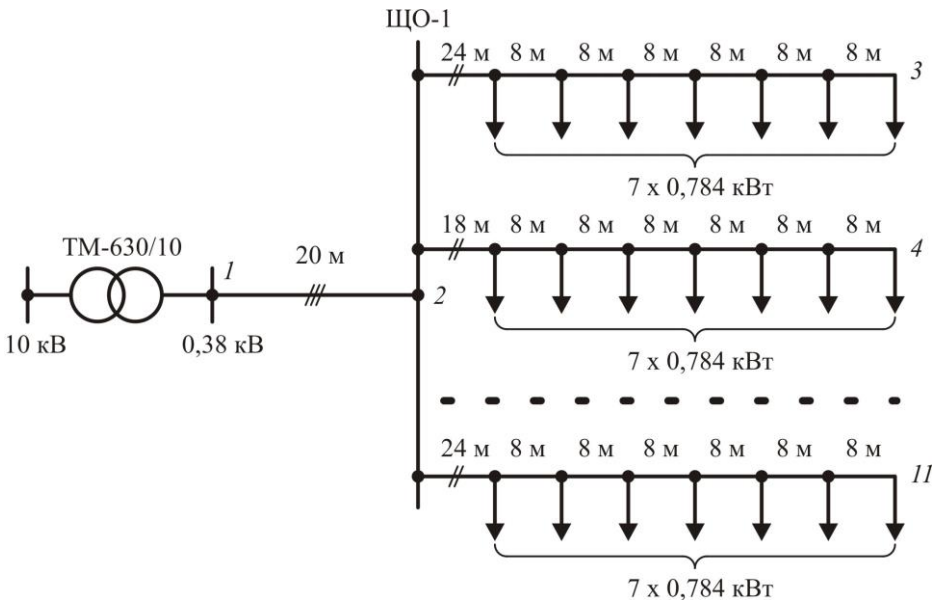


Рис. 8.7. Схема освітлювальної мережі для ЩО-1

Розрахункова потужність ламп, що встановлені в одному ряді:

$$P_{\text{р}}^{\text{ряд}} = n_{\text{л}} P_{\text{ном}} K_{\text{п}} K_{\text{ПРА}} = 7 \cdot 0,7 \cdot 0,95 \cdot 1,12 = 5,21, \text{ кВт.}$$

Загальна розрахункова потужність освітлювального навантаження по цеху:

$$P_{\text{р}} = n_{\text{р}} n_{\text{л}} P_{\text{ном}} K_{\text{п}} K_{\text{ПРА}} = 9 \cdot 7 \cdot 0,7 \cdot 0,95 \cdot 1,12 = 46,92, \text{ кВт.}$$

Втрати напруги в трансформаторі:

$$\Delta U_T = k_3 \cdot (U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi) = 0,7 \cdot (1,2 \cdot 0,95 + 5,37 \cdot 0,31) = 1,963\% ,$$

$$\text{де } U_a = \frac{\Delta P_{\text{к.з.}}}{S_{\text{н.тр.}}} \cdot 100 = \frac{7,6}{630} \cdot 100 = 1,2\% ,$$

$$U_p = \sqrt{U_{\text{к}}^2 - U_a^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,2^2} = 5,37\% ;$$

$$\Delta U_{\text{доп}} = \Delta U_{\text{xx}} - \Delta U_T - U_{\text{min}} = 105 - 1,963 - 97,5 = 5,537\%$$

Від КТП до освітлювального пункту ЩО-1 проходить чотирьохжильний кабель довжиною 20 м.

Визначимо перетин кабелю. Для цього спочатку розраховуємо моменти всіх ділянок мережі.

Момент навантаження на ділянці 1-2:

$$M_{1-2} = P_p l_{1-2} = 46,92 \cdot 20 = 938,44 \text{ кВт} \cdot \text{м} .$$

Момент навантаження на ділянці 2-3:

$$m_{2-3} = P_{\Sigma 2-3} \cdot (l_{\text{л1}} + l_{2-3} / 2) = 5,21 \cdot (24 + 48 / 2) = 250,25 \text{ кВт} \cdot \text{м} .$$

Розрахунки моментів навантаження для інших ділянок проводяться аналогічно. Результати розрахунків наведені в табл. 8.4.

Визначаємо розрахункове значення перерізу кабелю на ділянці 1-2 (до ЩО-1):

$$S'_{1-2} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i + \alpha \sum_{i=1}^n m_i}{C \Delta U_{\text{доп}}} =$$

$$\frac{M_{1-2} + \alpha (m_{2-3} + m_{2-4} + m_{2-5} + m_{2-6} + m_{2-7} + m_{2-8} + m_{2-9} + m_{2-10} + m_{2-11})}{C \Delta U_{\text{доп}}} =$$

$$= \frac{938,44 + 1,85 \cdot (250,25 + 218,97 + 187,69 + 156,41 + 130,34 + 156,41 + 187,69 + 218,97 + 250,25)}{44 \cdot 5,537 \cdot 1} = 17,19 \text{ мм}^2$$

де α – коефіцієнт приведення моментів, згідно таблиці 8.3;

C – коефіцієнт, який визначається по таблиці 8.2, в залежності від системи, напруги мережі і матеріалу проводів.

На ділянці мережі 1-2 приймаємо до встановлення кабель із найближчим більшим стандартним значенням перерізу: $S_{1-2} = 25 \text{ мм}^2$.

Дійсна втрата напруги на ділянці 1-2:

$$\Delta U_{1-2} = \frac{M_{1-2}}{C \cdot S_{1-2}} = \frac{938,44}{44 \cdot 25} = 0,853 \text{ \%}$$

Розрахункове значення втрати напруги на відхідних лініях ЩО-1 (ділянки 2-3, 2-4, ..., 2-11):

$$\begin{aligned} \Delta U_{2-3} = \Delta U_{2-4} = \Delta U_{2-5} = \Delta U_{2-6} = \Delta U_{2-7} = \Delta U_{2-8} = \Delta U_{2-9} = \Delta U_{2-10} = \\ = \Delta U_{2-11} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{1-2} = 5,537 - 0,853 = 4,684 \text{ \%} \end{aligned}$$

Розрахункові значення перерізу кабелю на ділянці 2-3:

$$S_{2-3} = \frac{m_{2-3}}{C \cdot \Delta U_{2-3}} = \frac{250,25}{7,4 \cdot 4,684} = 7,22 \text{ мм}^2$$

На ділянці мережі 2-3 приймаємо до встановлення кабель із найближчим більшим стандартним значенням перерізу: $S_{2-3} = 10 \text{ мм}^2$.

Дійсна втрата напруги на ділянці 2-3:

$$\Delta U_{2-3} = \frac{M_{2-3}}{C \cdot S_{2-3}} = \frac{938,44}{7,4 \cdot 10} = 3,38 \text{ \%} .$$

Розрахунки по вибору перерізу кабелів та визначення дійсної втрати напруги для інших ділянок мережі проводяться аналогічно. Результати даних розрахунків наведені в табл. 8.4.

Таблиця 8.4. Розрахунок освітлювальної мережі

Номер ділянки мережі	Момент, M кВт·м	Розрахунковий переріз, S мм ²	Стандартний переріз, мм ²	Втрата напруги, %
1-2	938,44	17,19	25	0,853
2-3	250,25	7,22	10	3,382
2-4	218,97	6,32	10	2,959
2-5	187,68	5,42	6	4,227
2-6	156,40	4,51	6	3,523
2-7	130,34	3,76	4	4,403
2-8	156,40	4,51	6	3,523
2-9	187,68	5,42	6	4,227
2-10	218,97	6,32	10	2,959
2-11	250,25	7,22	10	3,382

Захист освітлювальних мереж. Освітлювальні мережі незалежно від способу їх прокладання повинні бути захищені від струмів короткого замикання. Крім того, деякі види освітлювальних мереж згідно ПУЕ повинні мати також захист від перевантаження. До таких мереж відносяться:

а) мережі усередині приміщень, виконані відкрито прокладеними провідниками з горючою зовнішньою оболонкою або ізоляцією;

б) освітлювальні мережі в житлових і суспільних будівлях, в торгових приміщеннях, службово-побутових приміщеннях промислових підприємств, в тому числі мережі для побутових і переносних електроприймачів, а також у вибухо- і

пожежонебезпечних зонах.

Захист освітлювальних мереж здійснюється за допомогою плавких запобіжників або автоматичних вимикачів, встановлених на щитах підстанції, в магістральних і групових щитках.

Номинальні струми апаратів захисту слід вибирати по найменшим розрахунковим струмам відповідних ділянок мережі, але разом з тим вони не повинні спрацьовувати при випадкових збільшеннях навантаження. У освітлювальних мережах такі коливання навантаження з'являються внаслідок пускових струмів світлотехнічних установок з пуско-регулюючою апаратурою. Найбільш несприятливі в цьому відношенні газорозрядні лампи високого тиску. З урахуванням цього умова вибору захисного апарату по струму навантаження виглядає наступним чином:

$$I_{з.ап} = K_{пуск} I_p, \quad (8.16)$$

де $I_{з.ап}$ – струм захисного апарату;

I_p – розрахунковий струм лінії;

$K_{пуск}$ – коефіцієнт, що враховує пусковий струм джерела світла; коефіцієнт $K_{пуск}$ приймає значення 1,0... 1,4, залежно джерел світла, які використовуються.

Окрім перевірки на допустимий нагрів і втрату напруги, ПУЕ встановлюють певні співвідношення між струмами захисних апаратів і тривало допустимими струмами провідників, тобто пропускною спроможністю проводів і кабелів. Відповідно до цього, в мережах, що захищаються тільки від струмів коротких замкнень (що не вимагають захисту від перевантаження), повинна забезпечуватися умова, щоб по відношенню до тривало допустимих струмових навантажень провідників апарати захисту мали кратність не більше:

- 300 % для номінального струму плавкої вставки запобіжника;
- 450 % для струму уставки автоматичного вимикача, що має тільки максимальний розчіплювач (відсічку);
- 100 % для номінального струму розчіплювача автоматичного вимикача з нерегульованою зворотньою залежною від струму характеристикою (незалежно від наявності або відсутності

відсічки);

- 125 % для струму розчіплювача автоматичного вимикача з регульованою зворотньою залежною від струму характеристикою.

У мережах, що захищаються від перевантажень, повинна бути забезпечена умова, щоб по відношенню до тривало допустимих струмових навантажень апарати захисту мали кратність не більше:

- 80 % для номінального струму плавкої вставки або струму уставки автоматичного вимикача, що має тільки максимальний розчіплювач - для провідників з полівінілхлоридною, гумовою ізоляцією; для провідників, що прокладаються в невибухонебезпечних виробничих приміщеннях промислових підприємств, допускається 100 %;
- 100 % для номінального струму плавкої вставки або струму уставки автоматичного вимикача, що має тільки максимальний розчіплювач, - для кабелів з паперовою ізоляцією;
- 100 % для номінального струму розчіплювача автоматичного вимикача з нерегульованою зворотньою залежною від струму характеристикою (незалежно від наявності або відсутності відсічки) - для провідників всіх марок;
- 100 % для струму розчіплювача автоматичного вимикача з регульованою зворотньою залежною від струму характеристикою - для провідників з полівінілхлоридною, гумовою ізоляцією;
- 125 % для струму розчіплювача автоматичного вимикача з регульованою зворотньою залежною від струму характеристикою - для кабелів з паперовою ізоляцією.

У разі, коли при задоволенні цих умов, струм не співпадає з допустимим струмом провідника, дозволяється застосовувати провід найближчого меншого перерізу. Проте, при цьому він не повинен бути менше розрахункового струму лінії.

РОЗДІЛ 9

**СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ
ОСВІТЛЮВАЛЬНИМИ УСТАНОВКАМИ**

**9.1. Основні вимоги до систем керування освітлювальними
установками**

Освітлення, як внутрішнє, так і зовнішнє, є значним споживачем електроенергії. В багатьох об'єктах різного призначення – промислових, житлових, адміністративних, освітлення складає велику частину від загальної споживаної електроенергії. Енергоощадність освітлювальної установки суттєво впливає на витрату електроенергії, а проблеми її якості і раціональні методи експлуатації є надзвичайно актуальними.

Одним із важливих і пріоритетних заходів, спрямованих на зменшення витрат електроенергії і зниження експлуатаційних затрат, є застосування систем керування освітлювальними установкою в змінних умовах її роботи. Раціональне керування будь-яким технологічним процесом покращує його експлуатаційні показники, і освітлення в цьому відношенні не виняток. Щодо реалізації керування освітленням, то воно, як і в інших системах, може бути автоматичним, автоматизованим і ручним.

Найпростішим і найменш досконалим є ручне керування. Воно реалізується вимикачами і регуляторами інтенсивності освітлення, які приводяться до дії самими користувачами освітлювальної установки. Можна сформулювати деякі положення, спрямовані на підвищення його ефективності, які витікають із поведінки людей – користувачів освітлювальних установок. Люди, як правило, добре виконують операцію ввімкнення і збільшення інтенсивності освітлення, але потім забувають вимикати джерела світла або притемнювати їх, особливо тоді, коли це диктується тільки потребами економії електроенергії. Ефективність ручного керування може підвищити раціональна конструкція освітлювальних установок. Місцеві вимикачі і регулятори повинні

кидатись у вічі, розміщатись у типових та зручних місцях. Бажано встановити давачі присутності, які діють паралельно із загальним вимикачем, встановленим при виході.

Освітлювані приміщення промислових підприємств можна поділити на шість класів.

Кожному з цих класів можна рекомендувати окремі методи побудови структури і функцій автоматизованих систем керування освітленням.

До *першого класу* (простір власний) можна віднести приміщення, в яких працює одна чи декілька осіб, що вважають цей простір своїм і бажають самі вирішувати, яким має бути освітлення в довільний момент часу, або невеликі житлові приміщення. В таких приміщеннях автоматично, з метою економії енергії, має вимикатися світло, якщо його залишать працівники, а рівень перемикання штучного освітлення повинен перевищувати рівень зорового комфорту.

До *другого класу* можна віднести виробничі і лабораторні приміщення. Користувачі вважають близьку до себе зону своєю і не можуть контролювати віддалені зони, якими користуються інші люди, а отже не можуть й впливати на них. Для освітлення просторів цього класу рекомендується виділити декілька окремих кіл освітлення. Наприклад, для комунікації, безпеки, що дає можливість не вмикати повне освітлення, коли в ньому немає нагальної потреби. В такому разі доцільно встановити місцеві вимикачі і регулятори на окремих робочих місцях.

Освітлюваний простір *третього класу* – це адміністративно-побутові приміщення. Застосована для них автоматизована система керування повинна автоматично з витримкою часу вимикати світло в функції присутності людей у приміщенні.

До *четвертого класу* відносяться приміщення, в яких користувачі простору з'являються епізодично. Освітлення безпеки може бути обов'язковим і неперервним. Прикладом можуть служити склади, машинні зали, гаражі, переходи між стелажми в складах. Для таких приміщень автоматизована система керування повинна передбачати ручне ввімкнення і автоматичне вимкнення світла з витримкою часу в функції присутності людей.

До *п'ятого класу* відноситься освітлюваний простір, який не

належить користувачам, оскільки вони з'являються в ньому епізодично. Це – коридори, сходи, ліфти. Користувачі, які з'являються в таких місцях, безумовно, сподіваються, що їх простір буде освітленим. Якщо там темно, вони можуть скористатися вимикачем, якщо він "добре" розміщений, але цілком імовірно, що не вимкнуть світло, виходячи з цього простору.

І останній, *шостий клас* – це складські приміщення, де освітлення використовується тимчасово. В приміщеннях цього класу допускаються значні коливання «горизонтальної» освітленості. Часто такими приміщеннями користуються в певні години, і в зв'язку з цим можна застосовувати програмовані системи керування. Для них слід передбачити розділення освітлення на декілька електричних кіл, відповідно до програми використання і доступності денного світла.

В автоматичних системах керування освітленням, в автоматичних частинах автоматизованих систем контрольованими і регульованими параметрами є: горизонтальна освітленість, час, наявність людей у приміщенні. Для їх контролю використовують фотодатчики, підвішені на стелі або в інших місцях, програмовані мікроконтролерні реле часу і детектори присутності. Для значних відстаней можна рекомендувати мікрохвильові давачі. Використовують також давачі, які реагують на шум.

Обираючи принципову схему системи автоматичного керування освітленням слід враховувати властивості використаних в освітлювальній установці джерел світла. Якщо їх властивості і характеристики не дозволяють ефективно використати можливості і функції обраної системи, їх необхідно замінити. Наприклад, лампи розжарювання придатні для будь-яких алгоритмів керування, але їх великим недоліком є підвищена витрата електроенергії. Газорозрядні лампи високого тиску мають велику світловіддачу і споживають порівняно мало енергії, але їх не можна використовувати в системах з давачами присутності, тому що повторне запалювання теплої лампи може тривати кілька хвилин. У люмінесцентних ламп в режимі частих вмикань значно скорочується термін служби.

9.2. Системи автоматичного керування світлового потоку освітлювальних установок промислових та адміністративно-побутових приміщень

За останні роки вітчизняною та світовою промисловістю створено і серійно випускаються регулятори світлового потоку для різних джерел освітлення. Нижче приведено опис деяких з них.

Фірма Schneider Electric серійно виготовляє регулятори світлового потоку TVo, світлорегулятори з дистанційним керуванням та обладнання для керування. Світлорегулятори використовуються для керування ламп розжарювання та люмінесцентних ламп. Для ламп розжарювання рекомендуються світлорегулятори з дистанційним керуванням типу TVc700, TV700, які регулюють потужність ламп до 700 Вт, а для люмінесцентних ламп – світлорегулятори з дистанційним керуванням TVo1000, TVBo з регулюванням потужності ламп до 1500 ВА.

Світлорегулятори даних типів дозволяють управляти світловими потоками освітлювальних приладів, дистанційне включення та відключення їх від електричної мережі та виконують захист освітлювальних приладів і освітлювальних мереж. Крім того, світлорегулятори дозволяють виконувати багатозонне диференційне керування освітленням приміщень з використанням різних джерел світла з централізованим відключенням світла в неробочий час доби. Принципова схема освітлювальної мережі приведена на рис. 9.1.

В схемі керування використано:

- С60 Vigi - диференціальний автоматичний вимикач;
- ІНР – програмоване реле часу;
- TVo1000 – світлорегулятор для ламп розжарювання;
- TVBo - світлорегулятор для люмінесцентних ламп;
- NTVo – світлорегулятор.

Для керування зовнішнім освітленням промислових підприємств можна використовувати цифрове реле, реагуюче на темряву DigiLUX (ТОВ “ЕЛЕКТРОСФЕРА”, м. Київ).

Цифрове реле DigiLUX передбачено для керування зовнішнім освітленням, яке повинно включатися як тільки стемніє і виключатися зі сходом сонця.

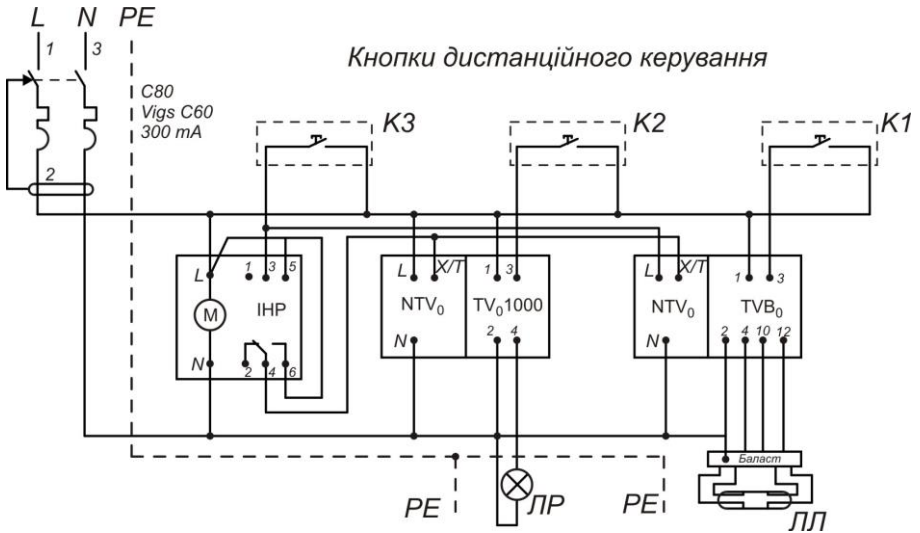


Рис. 9.1. Схема освітлювальної мережі із світлорегуляторами фірми Schneider Electric

DigiLUX дає можливість плавного регулювання, і, як наслідок – економічного включення і виключення освітлення після налаштування порогу чутливості, з точністю до 1 люкса. Програмування світлорегулятора виконується за допомогою вбудованих клавiш.

Цифрове реле DigiLUX розрізняє, чи підключений до нього фотоелемент і чи правильно він працює. Має функцію ігнорування випадкових змін інтенсивності освітлення. Схема підключення цифрового реле DigiLUX до освітлювальної мережі приведена на рис. 9.2.

Головні параметри DigiLUX:

- цифрове налаштування порогу з чутливістю в 1 люкс;
- діапазон вимірів фотодатчика 0-3500 люксів;
- число керуючих виходів 1;
- амперне навантаження 8(16)A/220 В (реле);
- безпосередня праця з контактором;
- візуальна сигналізація стану праці;
- живлення 220V +10%/- 20% 50 Гц.

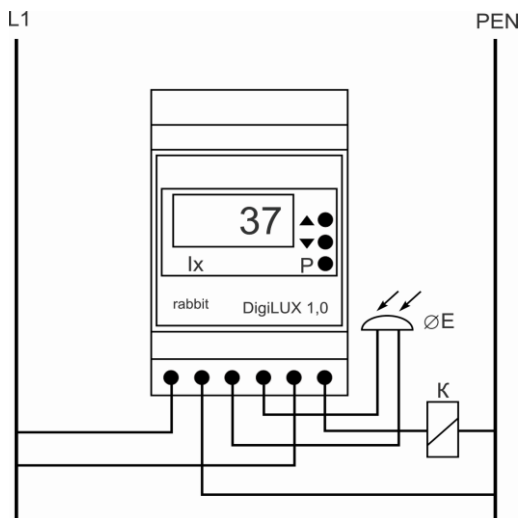


Рис. 9.2. Схема керування зовнішнім освітленням DigiLUX

Логічні модулі LOGO! для регулювання освітлення виробництва фірми Siemens є компактними, функціонально закінченими, універсальними виробами, призначеними для побудови простих пристроїв з логічною обробкою інформації. Алгоритм функціонування пристрою задається програмою, складеною з набору вбудованих функцій. Програмування контролерів LOGO! може виконуватися з клавіатури з відображенням інформації на вбудованому дисплеї. Суть програмування контролера Siemens зводиться до програмного з'єднання необхідних функцій і завдання параметрів налаштування (включення/виключення, значень лічильників і т.і.). Для виконання операцій використовується система вбудованих меню. Готова програма може бути, переписана в модуль пам'яті, вставлений в інтерфейс модуля LOGO!

Схема керування люмінесцентними світильниками за допомогою контролера LOGO! зображена на рис. 9.3.

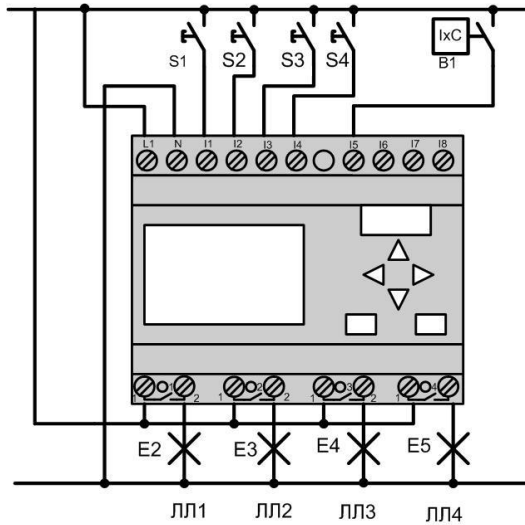


Рис 9.3. Схема керування люмінесцентними світильниками за допомогою контролера LOGO!

Функціональна блок-схема керування освітленням з використанням контролера LOGO! зображена на рис. 9.4.



Рис 9.4. Функціональна блок-схема керування освітленням з використанням контролера LOGO!

Використання LOGO! для регулювання освітлення здійснюється легко, оскільки в LOGO! закладено набір програмних елементів (вбудованих функцій), призначених виключно для вирішення такого роду завдань. Це перш за все функція «імпульсне реле» (при появі імпульсу на вході імпульсне реле перемикає імпульс); функція «сходовий автомат» (при появі імпульсу на вході реле включається і залишається включеним протягом 6 хвилин) і «багатофункціональний перемикач» (вихід включається на заданий час імпульсом натиснення, постійне освітлення вмикається утриманням кнопки в натиснутому стані протягом заданого часу).

Іншими можливостями для підвищення зручності і економії енергії при використанні LOGO! є, наприклад, мерехтіння світла перед автоматичним виключенням.

Окрім цього, можна вбудувати різні централізовані функції:

- централізоване виключення;
- централізоване включення (аварійна кнопка);
- керування всіма світильниками або окремими ланцюгами через сумарний вимикач;
- керування за допомогою вбудованого часового вимикача (постійне освітлення тільки до 24.00 годин; відсутність розблокування на певні інтервали часу) ;
- автоматичне виключення постійного освітлення по передвстановленому часу (наприклад, після закінчення 3-х годин).

Природно, що використовувати логічний модуль LOGO! виключно для відносно простих рішень дуже не раціонально, тому використовувати необхідно для багатофункціональних схем автоматичного керування цілих ланцюгів світильників в одному або в декількох приміщеннях.

Переваги виконання освітлення з використанням LOGO! наступні:

- лампи можна підключати безпосередньо до LOGO! за умови, що не буде перевищуватися комутаційна здатність окремих виходів. Для великих потужностей, слід використовувати силовий контактор;
- вимикач, що реагує на освітленість, підключається безпосередньо до входів LOGO!;

- не потрібен часовий вимикач, оскільки ця функція вбудована в LOGO!;
- дія вимикача, що реагує на освітленість, може бути перенесена на всі лампи або на групу ламп.

Для зручності програмування і наладки логічного модуля LOGO! фірма-виробник створила дуже зручну програму «LOGO!Soft Comfort».

В теперішній час практично неможливо повністю відтворити параметри природного освітлення, використовуючи наявні джерела світла. Пов'язано це з труднощами створення джерел світла зі спектром, аналогічним спектру природного світла. RGB-світлодіоди мають спектр, найбільш відповідний до чутливості людського ока, і дозволяють регулювати колірну температуру. Функціональна схема автоматичної системи керування освітленням, що розроблена співробітниками Вінницького національного технічного університету та Луцького національного технічного університету [20] зображена на рис. 9.5.

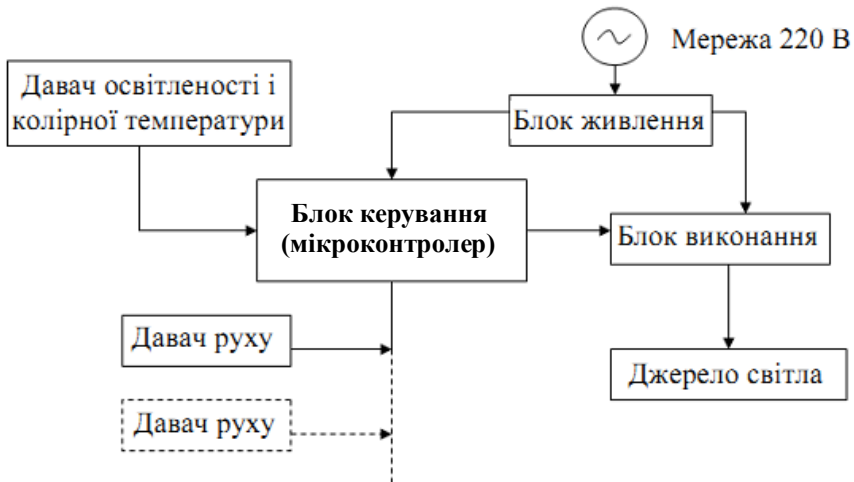


Рис 9.5. Функціональна схема автоматичної системи керування освітленням

Принцип роботи системи наступний. Присутність людини в приміщенні з установленою системою реєструє давач руху, і дані про це відправляють на блок управління. Під час отримання цих даних мікроконтролер проводить зчитування інформації з давача освітленості про рівень інтенсивності спектрів випромінювання червоного, зеленого та синього складників окремо та про сумарну величину рівня природної освітленості. Отримане значення порівнюють із заданим і за відсутності збігу пропорційно коригують величину інтенсивності кожного з кольорів. Це дозволяє за незмінної колірної температури, змінювати рівень освітленості. З мікроконтролера інформацію про інтенсивність свічення кожного кольору подають на блок виконання, який формує імпульси керування кристалами світлодіоду.

Основою системи є блок управління на основі мікроконтролера ATmega16L–8PU фірми ATMEL. Використання мікроконтролера в цій системі як пристрою керування дозволило програмно реалізувати обробку інформації, отриманої з давачів, її порівняння з даними про необхідний рівень освітленості, корекцію світлових параметрів та створення керувальних імпульсів для управління джерелом світла. Зміна колірної температури джерела світла стала технічно можливою тільки нещодавно, завдяки розробці й упровадженню RGB-світлодіодів. Їхньою особливістю є розміщення трьох світловипромінювальних кристалів в одному корпусі з оптичною системою. Це дало можливість, змінюючи значення струму незалежно для кожного з кристалів, отримати всі можливі відтінки кольорів, що розрізняє людина. Для відтворення необхідної колірної температури достатньо мати числове значення двох координат на площині діаграми колірності (рис. 9.6). При цьому горизонтальна вісь діаграми характеризує насиченість того чи іншого кольору, а вертикальна – його тон.

Основою принципової схеми (рис. 9.7) є світлодіодний драйвер HV9961, що дозволяє стабілізувати струм через світлодіод незалежно від дії зовнішніх чинників, таких як: коливання напруги мережі та зміна температури. Додатковою перевагою використання в системі світлодіода є його спектр випромінювання, що відповідає чутливості людського ока.

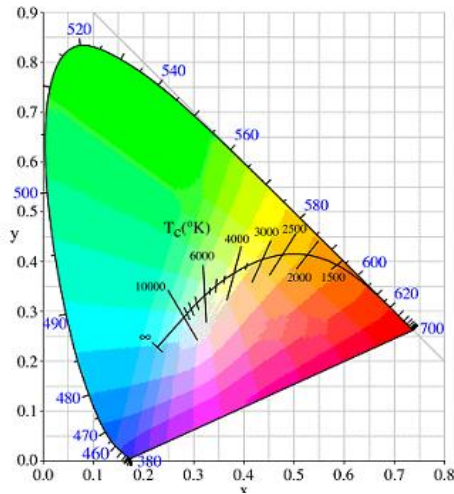


Рис 9.6. Діаграма колірності в системі x, y

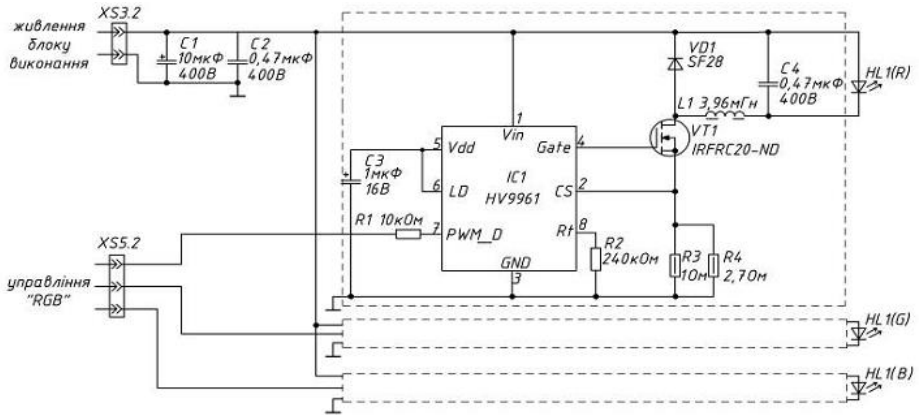


Рис 9.7. Принципова схема блока виконання з використанням RGB-світлодіода

У якості давача колірної температури й освітленості використовують мікросхему TCS3200 – перетворювач “освітленість – частота” (рис. 9.8 а).

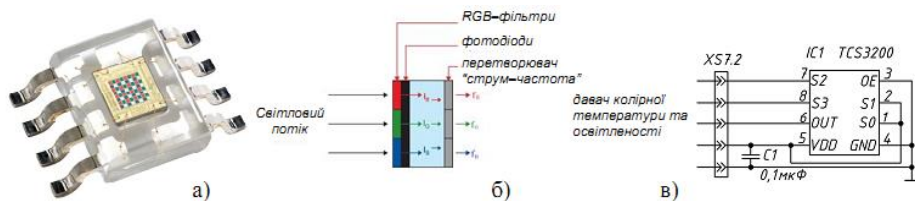


Рис 9.8. Давач колірної температури та освітленості TCS3200

Вона складається з матриці фотодіодів 8 на 8 та операційного підсилювача, що перетворюють зміну освітленості в зміну частоти. Фотодіодна матриця складається із 16 фотодіодів із синім фільтром, із 16 – з червоним, із 16 – з зеленим та 16 фотодіодів без фільтра, які для мінімізації ефекту нерівномірності розташовані в шаховому порядку.

Принцип роботи такий (рис. 9.8 б). RGB-фільтри розкладають світло, що падає, на червоний, зелений і синій складники. Фотодіод, що розміщений під відповідним фільтром, перетворює яскравість у струм, після чого операційні підсилювачі зі струмовим входом перетворюють зміну струму в зміну частоти. Принципову схему увімкнення зображено на рис. 9.8 в). Основними перевагами цієї мікросхеми є лінійна залежність частоти від освітленості (приблизно 1кГц на 1лк) і спектральна чутливість, наближена до чутливості людського ока.

У якості детектора руху використовують пасивний інфрачервоний сенсор. Він складається з трьох елементів:

- оптичної системи, що формує діаграму направленості давача й визначає форму і вид просторової зони чутливості. У цій системі використовують лінзу Френеля;

- піроелектричного сенсора, що реєструє теплове випромінювання людини;

- блоку обробки сигналів сенсора, що генерує сигнали, зумовлені рухом людини, на тлі перешкод природного та штучного походження. Його схема наведена на рис. 9.9.

Сигнал від руху людини виникає на виході піроелемента в разі перетину людиною променя зони чутливості. Чутливість і вибірковість дії сенсора формують за допомогою лінз Френеля з різними діаграмами направленості.

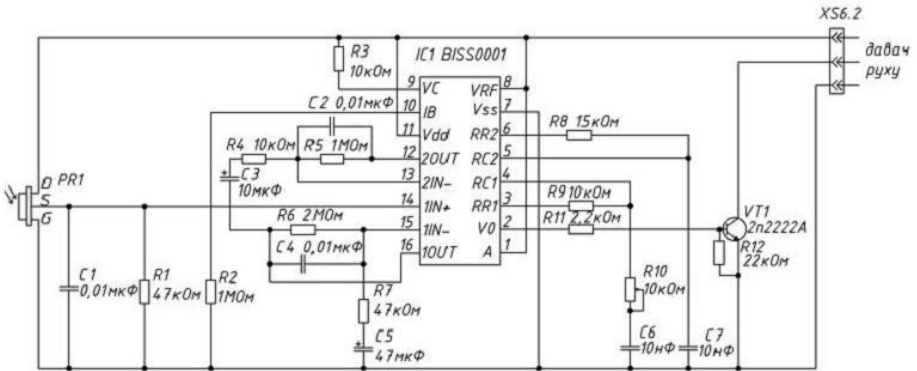


Рис 9.9. Принципова схема вмикання давача руху

Основними перевагами запропонованої системи керування освітленням є:

- зміна колірної температури світла протягом доби, відповідно до змін природного освітлення;
- точне підтримання заданого рівня освітленості;
- урахування присутності людей;
- наявність плавного вмикання джерела світла (за винятком світлодіодів);
- невеликі габарити та маса;
- модульна конструкція;
- низьке енергоспоживання.

Компанією Schreder розроблено систему дистанційного керування для моніторингу, вимірювання та управління мережею освітлення «ОУЛЕТ-Ніч». Поєднання передових технологій та зручного веб-інтерфейсу в даній системі дає змогу керувати кожним світильником у будь-який час з будь-якої точки світу. Завдяки двосторонньому зв'язку, можна моніторити зворотню інформацію про робочий стан, споживання електроенергії, імовірні збої в роботі світлоточки.

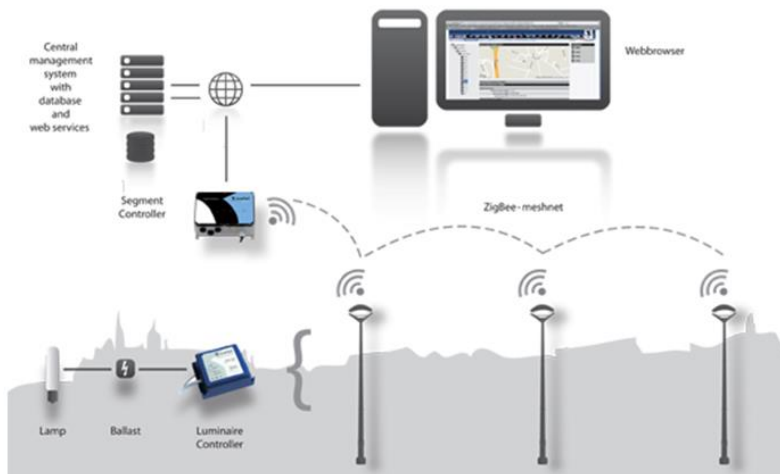


Рис 9.10. Принцип роботи системи «ОУЛЕТ-Ніч»

Система «ОУЛЕТ-Ніч» має наступні функції :

- безпечне зберігання даних і резервне копіювання;
- система налаштування звітів за певними параметрами;
- можливість інтеграції операційної системи третіх сторін через мости даних;
- сценарій переходу на аварійний режим;
- управління даними (аналіз енергоспоживання, виявлення проблем);
- миттєве аварійне сповіщення (через смс, електронні повідомлення, дзвінок на мобільний);
- просте масштабування мережі;
- спрощена інтеграція зовнішніх датчиків.

Дана система забезпечує сумісність з будь-яким типом джерела світла, ПРА чи LED драйвером.

Однією з останніх розробок в галузі управління світлотехнічними пристроями є DALI (Digitally Addressable Lighting Interface). Саме цей інтерфейс дозволяє шляхом інтеграції мікроконтролерів у освітлювальні баласты зробити перший сміливий крок у цифровий світ.

Інтерфейс DALI був розроблений в 1999 році. Він прийшов на зміну системі управління DSI (Digital Serial Interface). Оскільки DALI замислювався для управління освітленням, у розробці

системи взяли участь провідні виробники електронних баластів, насамперед Osram, Philips, Tridonic, Trilux, Helvar.

Система управління освітленням на базі інтерфейсу DALI може бути легко інтегрована в різні системи автоматизації управління будівлею, такі, як LON, BACNet, KNX / EIB. Для такого об'єднання багато фірм випускають шлюзи KNX-DALI і LON-DALI.

Стандарт протоколу та апаратні засоби DALI призначені тільки для керування освітленням, що говорить про вузьку спеціалізацію даної системи. Тому в цілому така система є високоефективною і недорогою. Підключення пристроїв, що працюють по протоколу DALI показано на рис. 9.11.

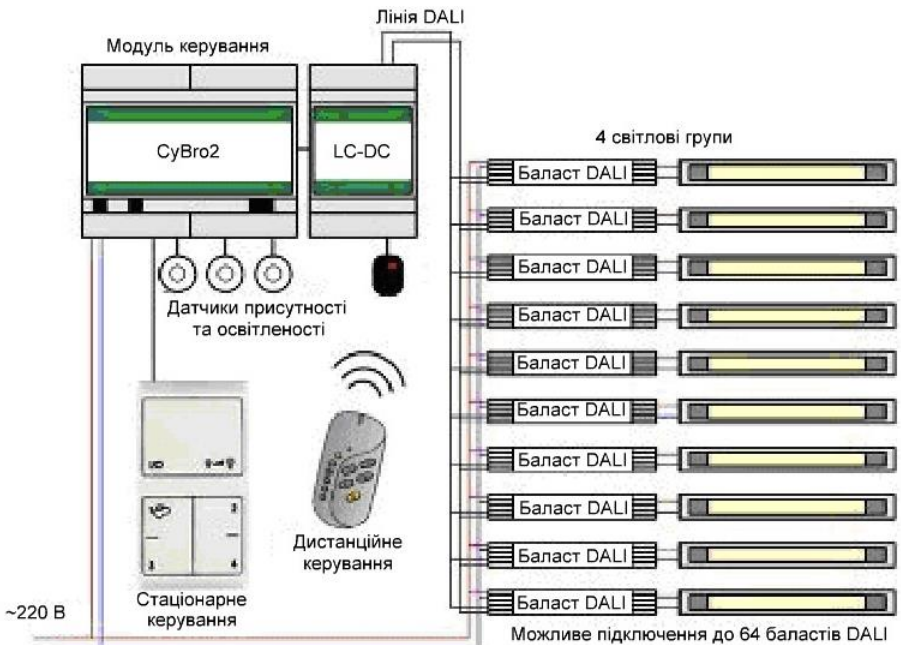


Рис 9.11. Структурна схема системи DALI

Система DALI стандартизована згідно стандарту IEC 60929. Як показано на рис. 9.11, зв'язок між контролером DALI і окремими пристроями здійснюється по двопровідній лінії. Лінія DALI інтерфейсу двонаправлена, що дозволяє передавати інформацію як

від контролера до периферійних пристроїв, так і назад.

Для передачі даних використовується постійна напруга 22,5 В. При цьому полярність підключення лінії до різних пристроїв значення не має, а сама лінія має захист від напруги освітлювальної мережі. Завадозахищеність лінії дозволяє розмішувати її в силовому кабелі або використовувати вільні провідники цього кабелю.

Мережа на базі шини DALI не має центрального процесора, тобто децентралізована. Така організація дозволяє підключати в цю мережу будь-які пристрої, призначені для роботи з шиною DALI. Такі пристрої, як правило, мають вбудовану незалежну пам'ять, що дозволяє зберігати різну інформацію. У першу чергу це адреса пристрою, інформація про пристрій і стан підключених до нього світильників, і цілі набори команд, іменовані також сценаріями.

Один пристрій управління DALI може відтворювати до 16 світлових сценаріїв і отримувати і зберігати інформацію про різні параметри системи: справність світильників, включений або виключений світильник, заданий рівень освітленості.

Електронні баласты DALI автоматично знаходять пристрій управління, при цьому всередині баластів зберігаються різні установки. Перш за все це адресація пристроїв, світлові сценарії, розподіл по групах, швидкості регулювання світлового потоку, значення потужності аварійного освітлення.

У складі системи DALI передбачено використання датчиків руху, присутності і освітленості, що дещо розширює функціональність пристрою в цілому. Завдяки цьому можливе програмування світлових сцен з урахуванням денного освітлення. Датчики руху програмуються на час спрацьовування до 30 хвилин.

Програмування і управління пристроєм досить просто і здійснюється кнопками із замикаючим контактом. Зовнішній вигляд пульта управління DALI контролера зображений на рис. 9.12.



Рис 9.12. Зовнішній вигляд пульта керування DALI контролера

Системи керування освітленням від ITW SYSTEMS розроблені з урахуванням нових тенденцій на ринку і вимог замовника.

Для забезпечення широкого спектру функцій, можливо застосовувати сумісні зі світильниками блоки для керування по протоколу DALI. Система керування Cricket є в декілька разів дешевшою, ніж система DALI. Перевагою таких систем є застосування 3-х режимних джерел живлення, що дозволяє отримувати економію електроенергії при мінімальних капітальних затратах. Особливості систем автоматичного керування освітленням від ITW SYSTEMS:

- можливість установки системи керування як на один світильник, так і на групу світильників;
- гнучкість налаштувань відповідно до потреб споживача;
- режим освітленості може бути запрограмований на сенсори руху, звуку, присутності, різні пори року і доби.

Автоматизовані системи керування світлодіодним освітленням Cricket (рис. 9.13) розроблені для оптимізації процесів управління і контролю над освітленням, за рахунок яких досягається мінімізація споживання електроенергії.



Рис 9.13. Зовнішній вигляд системи керування освітленням від ITW SYSTEMS «Cricket»

Важливою перевагою системи Cricket є легкість і простота в установці - це дозволить істотно заощадити час і фінанси на виклик фахівця з установки і налагодження.

Основні функції системи керування «Cricket»:

- система управління контролю освітленням може програмувати режим освітлення з застосуванням датчиків руху, звукових ефектів і присутності, що дозволяє економити до 30% на споживанні електроенергії;
- система Cricket має ступінь захисту IP 20 і можливість безперебійної експлуатації в режимі температур від 0 до +40 ° C;
- система управління зовнішнім освітленням має гарантований термін служби мінімум 5 років.

9.3. Стабілізатори та обмежувачі напруги для освітлювальних мереж

У випадках, коли в освітлювальній мережі спостерігаються сильні коливання і відхилення напруги, як в сторону підвищення, так і в сторону зниження, рекомендується застосовувати

стабілізатори напруги. В таких мережах можна використовувати силові трифазні стабілізатори напруги типу СТС, що виготовляються заводом „Електромаш” (м.Тирасполь). Вони мають пофазну схему регулювання і забезпечують якісну стабілізацію вихідної напруги в межах 1,5% при зміні первинної напруги живлячої мережі від -15% до +10%.

Стабілізація здійснюється як при симетричному, так і несиметричному навантаженні майже до 100% несиметрії, а також при повному скиданні навантаження, тобто при холостому ході. Під час роботи частота в живлячій мережі може змінюватися на $\pm 2\%$. Стабілізатори можуть також компенсувати значну несиметрію напруг первинної мережі: при несиметрії, рівній 10%, додаткова похибка стабілізації складає 1%. Стабілізатори даного типу не вносять істотних викривлень в форму кривої вихідної напруги. В граничних режимах, зазначених вище, коефіцієнт нелінійних викривлень не перевищує 5%. Стабілізація здійснюється незалежно від характеру навантаження, коефіцієнт потужності якого може змінюватися від 1 до 0. Конструктивно всі елементи схеми керування розміщуються на трьох окремих для кожної фази блоках, які мають однакове призначення і мають одну й ту саму апаратуру. Стабілізатори типу СТС відрізняються високою надійністю, їх інерційність складає біля 0,02 с. Параметри трифазних стабілізаторів напруги типів СТС приведені в табл. 9.1.

Велике значення для економічної роботи освітлювальних установок має стабільність живлячої напруги. Для підтримки необхідної напруги на джерелах світла поряд зі стабілізаторами напруги СТС використовуються тиристорні обмежувачі напруги ТОН-3.

Обмежувачі ТОН-3 випускаються в Росії в двох модифікаціях – ТОН-3-220-63 і ТОН-3-220-100 на струми відповідно 63 і 100 А. Вони виконуються у вигляді шаф захищеного виконання, підлогового або настінного кріплення. Схема підключення ТОН-3-220 показана на рис. 9.14.

Тиристорні обмежувачі ТОН-3 можуть працювати при зміні напруги, що підводиться, від 80 до 130 % номінальної. Якщо напруга нижча за номінальну, то обмежувач подає на навантаження мережеву напругу, зменшену на втрату напруги в самому апараті (що становить близько 1 %), якщо вище – подає номінальну напругу з відхиленням $\delta U = 1,5$ %. Швидкодія ТОН-3 складає 0,08 – 0,1 с, при цьому миттєві коливання напруги згладжуються. Обмежувачі напруги типу ТОН-3 не можна застосовувати в освітлювальних установках приміщень, де є обмеження на допустимий рівень радіоперешкод.

При відключенні освітлення системою дистанційного керування обмежувача, або внутрішніми тумблерами при включеному ввідному рубильнику обмежувача навантаження відключається, але обслуговування освітлювальної установки залишається небезпечним. Тому при обслуговуванні світильників, освітлювальних мереж і мережевих апаратів слід відключати ввідний рубильник або апарат керування, встановлений до обмежувача на лінії, що живить обмежувач, або апарати керування груп на щитках. Для підвищення безпеки при помилкових діях персоналу і забезпечення надійності запалення розрядних ламп рекомендується безпосередньо поблизу тиристорного обмежувача включати через запобіжник по одній лампі розжарювання потужністю 40 Вт на кожен фазу.

Обмежувачі потрібно встановлювати переважно перед груповими освітлювальними щитками. У випадках, коли по ПУЕ дозволений захист групових ліній апаратом на струм до 63 А, допускається замість групових щитків використовувати апарати типу ТОН-3-220-63, причому при замовленні слід обговорювати необхідність постачання їх з відповідними плавкими запобіжниками.

В установках з люмінесцентними лампами обмежувачі працюють надійно (без мерехтіння лампи), якщо число ламп, що живляться випереджаючим струмом через баласт, не перевищує 50 % всіх ламп. Коли обмежувачі працюють в мережах, що живлять лампи типу ДРЛ, ДРИ, ДНаТ і необхідне здійснення компенсації реактивної потужності, можливі наступні рішення:

а) якщо тиристорний обмежувач використовується як

груповий щиток, трифазний компенсуючий конденсатор підключають до ввідного рубильника обмежувача чи встановлюють перед пускачем, що блокується з рубильником обмежувача і включається при спрацьовуванні рубильника;

б) якщо обмежувач встановлюється перед щитком і обслуговує декілька груп, відносно яких є упевненість, що вони працюватимуть тільки одночасно, конденсаторна батарея, розрахована на повну потужність щитка, блокується з ввідним рубильником обмежувача, як вказано в п. а).

Втрати напруги в освітлювальних мережах з тиристорними обмежувачами розраховують по звичайному методу, допустиму втрату напруги знижують на 0,5 %.

При перевірці мереж на допустиме значення струму слід враховувати зниження коефіцієнта потужності (окрім ланцюгів, що відходять від обмежувача до ламп розжарювання) до наступних усереднених значень:

- для ліній, що живлять обмежувач з навантаженням у вигляді ламп розжарювання або люмінесцентних ламп, включених по компенсованій схемі: 0,85;
- для ліній, що живлять обмежувач з розрядними лампами високого тиску без компенсації: 0,45;
- для ліній, що відходять від обмежувача до розрядних ламп високого тиску без компенсації: 0,5.

Із-за погіршеного гармонійного складу кривих струму як в мережах, що живлять обмежувач, так і в мережах, що відходять від них, нульовий дріт по пропускній спроможності повинен відповідати робочому струму кожної з фаз. При використанні кабелів з алюмінієвою оболонкою і в установках, де таку оболонку застосовують як робочий нульовий провідник, необхідно прокладати чоторижильні кабелі із звичайним перетином нульових жил (тобто меншим, ніж перетин фазних) і додатковим використанням провідності оболонки.

В освітлювальних установках з розрядними лампами, за наявності в освітлювальних мережах постійних або можливих нерегулярних, але тривалих перевищень напруги, що досягають 5 - 10 % номінальної напруги, слід, як правило, встановлювати обмежувачі або стабілізатори напруги.

В освітлювальних установках з лампами розжарювання за наявності в освітлювальних мережах постійних або тривалих перевищень напруги в межах 225-245 В слід застосовувати лампи розжарювання на підвищену номінальну напругу: 220...230, 230...240 або 235... 245 В.

9.4. Вибір уставок вихідної напруги стабілізаторів і обмежувачів напруги в освітлювальних мережах

В процесі експлуатації промислових освітлювальних установок напруга, яка до них підводиться, не є незмінною і залежить при сумісному живленні від одного трансформатора освітлювального і силового навантаження, від динаміки зміни навантаження. Ця обставина обумовлює імовірнісний характер зміни напруги в освітлювальних мережах, причому, оскільки зміни потужності, що споживається силовим навантаженням, підкорюються нормальному закону, те ж саме відноситься і до відхилень напруги на шинах живлячого трансформатора, а тому і до напруги на виводах окремих елементів освітлювальної установки. Параметрами нормального закону в термінах задачі, що розглядається, є: математичне очікування (середнє значення) $U_{\text{сеп}}$ і середньоквадратичне відхилення напруги σ . Як було показано в пп. 9.2, 9.3, підвищення якості напруги в освітлювальних мережах в багатьох випадках, може бути забезпечено використанням регуляторів, стабілізаторів і обмежувачів напруги.

Вихідними даними для розрахунку уставок вихідної напруги регуляторів в освітлювальних мережах є максимальна U_{max} і мінімальна U_{min} напруги, які визначаються в проекті електропостачання. Для нормального закону розподілення імовірностей, з імовірністю 0,999 відхилення напруги від середнього значення $U_{\text{сеп}}$ не перевищують $\pm 3\sigma$, тобто можна прийняти, що

$$U_{\text{min}} = U_{\text{сеп}} - 3\sigma, \quad (9.6)$$

$$U_{\text{max}} = U_{\text{сеп}} + 3\sigma. \quad (9.7)$$

Із (9.6) і (9.7) слідує:

$$\sigma = (U_{\max} - U_{\min}) / 6; \quad (9.8)$$

$$U_{\text{ср}} = (U_{\max} - U_{\min}) / 2. \quad (9.9)$$

Регулятори, які встановлюються в освітлювальних мережах, обмежують верхню межу відхилень напруги значенням $U_0 \leq U_{\max}$, і якщо $U_0 \geq U_{\min}$, то середня напруга на виході регулятора повинна забезпечити рівність математичного очікування світлового потоку ламп освітлювальної установки світловому потоку ламп при номінальній напрузі в розрахунковій точці групової освітлювальної мережі.

Для нормального закону розподілення імовірностей живлячої напруги щільність розподілення імовірностей:

$$f(U) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(U-U_{\text{ср}})^2}{2\sigma^2}}, \quad (9.10)$$

де U – імовірнісне (поточне) значення живлячої напруги.

Напруга на виході регулятора буде дорівнювати U , якщо $U \leq U_0$, або U_0 , якщо $U_0 \leq U$. Іншими словами, напруга на виході регулятора дорівнює найменшому із значень U або U_0 , тобто

$$U_{\text{вих}} = \min(U, U_0). \quad (9.11)$$

Середнє значення напруги на виході регулятора можна визначити по формулі

$$U_{\text{р.ср}} = \int_{-\infty}^{\infty} \min[U, U_0] f(U) dU. \quad (9.12)$$

Виконавши інтегрування та пертворення згідно [1], отримаємо

$$U_{\text{p.сep}} = U_0 - \sigma \psi(t_0), \quad (9.22)$$

де

$$\psi(t_0) = t_0(0,5 + \Phi(t_0)) + f(t_0). \quad (9.23)$$

Вище було відмічено, що значення $U_{\text{p.сep}}$ повинно бути таким, щоб забезпечити в розрахунковій точці мережі освітлення математичне очікування напруги, яка дорівнює номінальному значенню. Втрати напруги в мережі передбачаються відомими, а тому відома і необхідна напруга $U_{\text{p.сep}}$. Тоді по (9.22) значення уставки регулятора напруги U_0 визначається в наступному порядку.

З (9.22), враховуючи, що $U_0 = U_{\text{сep}} - t_0 \sigma$, маємо

$$U_{\text{p.сep}} = U_{\text{сep}} + (t_0 - \psi(t_0)), \quad (9.23)$$

або

$$t_0 - \psi(t_0) = (U_{\text{p.сep}} - U_{\text{сep}}) / \sigma. \quad (9.24)$$

Вирішуючи (9.24), визначаємо значення t_0 , після чого знаходимо уставку регулятора напруги

$$U_0 = U_{\text{сep}} + t_0 \sigma. \quad (9.25)$$

В якості приклада визначимо уставку вихідної напруги регулятора напруги при умові, що максимальне і мінімальне значення відхилень фазної напруги на шинах живлячого трансформатора $U_{\text{max}}=246$ В, $U_{\text{min}}=218$ В. Втрата напруги від трансформатора до розрахункової точки складає 1%, або 2,2 В. Знайдемо уставку регулятора напруги при умові, що в

розрахунковій точці математичне очікування повинно дорівнювати 220 В.

Середнє значення напруги на шинах трансформатора по (9.9)

$$U_{\text{сер}} = (246 + 218)/2 = 232 \text{ В.}$$

Середньоквадратичне відхилення по (9.8):

$$\sigma = (246 - 218)/6 = 4,66 \text{ В.}$$

Необхідне значення середньої напруги на виході регулятора:

$$U_{\text{сер}} = U_{\text{ном}} + \Delta U = 220 + 2,2 = 222,2 \text{ В}$$

Згідно формули (9.24):

$$t_0 - \psi(t_0) = (-232 + 222)/4,66 = -2,14$$

Згідно рис. 3.8 [1] відповідне значення $t_0 = 2,1$.

Розрахунок уставки регулятора можна проводити і в відносних одиницях напруги.

$$U_0 = 232 - 2,1 \cdot 4,66 = 223 \text{ В.}$$

9.5. Розміщення і особливості проектування засобів регулювання напруги в освітлювальних мережах

Розміщення стабілізаторів, регуляторів і обмежувачів напруги в освітлювальних мережах визначається структурою і конфігурацією мережі, розміщенням, характером навантаження і зміною напруги в часі.

На рис. 9.15 приведена характерна структурна схема розподілу електроенергії для освітлювальних установок.

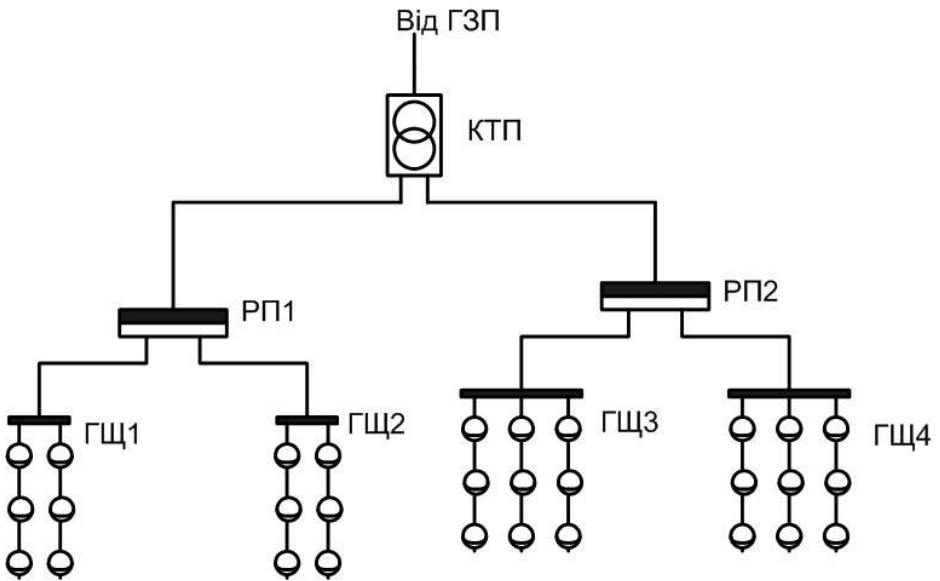


Рис 9.15. Характерна структурна схема розподілення електроенергії для освітлювальних установок

Як відомо, якість напруги в значній мірі залежить від збігу графіків навантажень окремих електроприймачів, а також від можливостей регулювання напруги в центрах живлення, зокрема на головних знижувальних підстанціях ГЗП і трансформаторних підстанціях ТП (рис. 9.15).

Діапазон можливих відхилень напруги у вузлових точках розгалуження мережі, зокрема в розподільних пунктах живлячої мережі РП і на групових освітлювальних щитках ГЩ, повинні бути визначені вже на стадії проектування, причому відразу ж повинні бути вибрані засоби регулювання напруги. При виборі засобів регулювання необхідно уважно підходити до вибору потужності регуляторів. Відомо, що чим потужніший регулятор, тим більшу потужність ламп він може обслуговувати і тим менше вартість 1 кВт встановленої потужності регуляторів, але при цьому погіршується якість стабілізації. Найкращі показники якості стабілізації мають схеми, в яких регулятори напруги встановлені безпосередньо перед груповими щитками ГЩ (рис. 9.16, а).

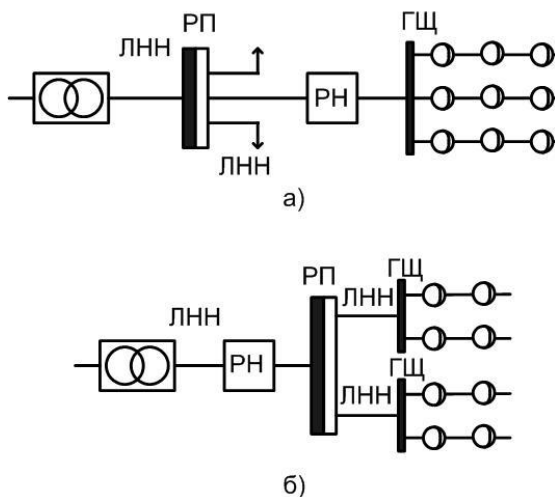


Рис 9.16. Схема керування освітлювальними приладами

При збігу графіків навантаження окремих груп добрі результати можуть бути досягнуті включенням стабілізатора або обмежувача напруги на вході в розподільний пункт живлячої мережі (рис. 9.16, б)

У всіх випадках при виборі варіанту установки і конкретного типа регулятора слід приймати варіант з найменшими приведеними витратами.

При застосуванні обмежувачів напруги ТОН-3 і інших пристроїв регулювання напруги часто виникає положення, при якому по тим або іншим причинам неможливе повне завантаження цих пристроїв.

Звичайно показники економічної ефективності регуляторів і обмежувачів розраховуються для режиму повного завантаження. Проте в умовах реальної експлуатації такий режим не завжди має місце. Неповне завантаження обумовлюється головним чином розділенням мережі освітлення на ділянки. Для підключення до обмежувача ділянки мережі об'єднують так, щоб їх сумарна встановлена потужність не перевищувала потужності обмежувача.

РОЗДІЛ 10**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ В ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ
УСТАНОВКАХ ТА МЕРЕЖАХ****10.1. Заощадження електричної енергії
в освітлювальних установках**

В економічно розвинених країнах на потреби освітлення витрачається приблизно 10-20% електроенергії або 5% усіх паливно-енергетичних ресурсів. За оцінками експертів Україна витрачає на освітлення 15% виробленої електроенергії. В експлуатації знаходиться більш ніж 260 млн. одиниць освітлювальних приладів, значна кількість з яких є морально та фізично застарілими. Через низьку ефективність джерел світла та світлових приладів, питомі витрати електроенергії на виробництво світлової енергії в Україні в 1,5 рази вище ніж в сучасних розвинених країнах.

Аналізування сучасного стану систем освітлення показало, що в різних галузях промисловості, міської інфраструктури, житловому секторі під час використання сучасних технологій освітлення витрати електричної енергії на освітлення для окремих позицій можуть бути зменшені на 40-60% .

Прогнозна оцінка можливої економії електроенергії на освітлення від використання сучасних енергоощадних систем освітлення в різних галузях народного господарства відображена на діаграмі (рис. 10.1).

**10.2. Енергозаощаджуючі рішення на стадії проектування
освітлення промислових підприємств**

На стадії проектування освітлення промислових підприємств слід вирішувати наступні питання:

- нормування освітлення;
- вибір найбільш ефективних джерел світла;

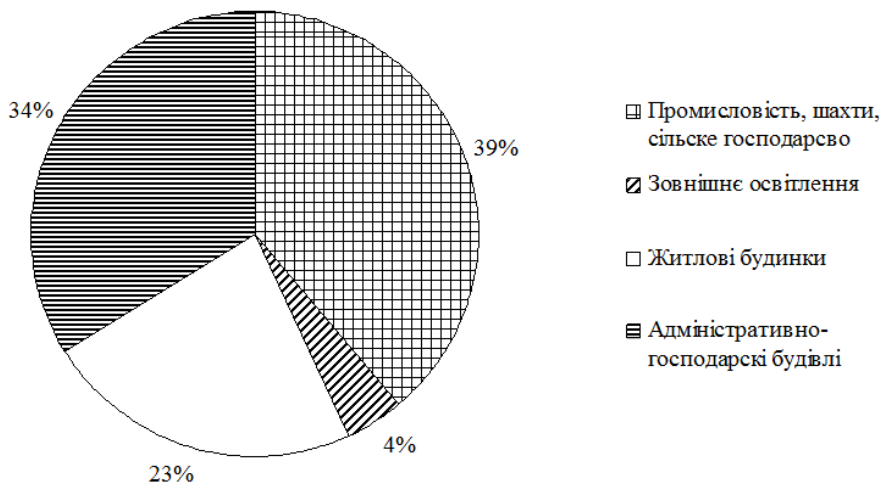


Рис. 10.1. Діаграма показників економії електроенергії на освітлення від використання сучасних енергоощадних систем освітлення в різних галузях

- раціональне розміщення освітлювальних приладів і їх підключення;
- спрямування випромінювання джерел світла;
- впровадження систем керування роботою освітлювальних приладів;
- особливі види виконання освітлення.

Правильно розрахована схема освітлення, в першу чергу, має відповідати встановленим нормативам стосовно конкретного об'єкту, а саме, нормам освітленості, показникам засліпленості (дискомфорту), коефіцієнту пульсації, кольоропередачі.

При виборі джерела світла доцільно використовувати той тип лампи, котрий забезпечує максимальну світловіддачу стосовно конкретних умов і вимог якості освітлення.

В першу чергу, слід використовувати сучасні енергоощадні джерела світла при проектуванні нових об'єктів.

Якщо розташувати джерела світла за зростанням їх енергетичної ефективності, то лампи, які серійно виготовляються промисловістю розмістяться таким чином:

1. Лампи розжарювання (ЛР).
2. Дюгові ртутні лампи (ДРЛ).
3. Люмінесцентні лампи (ЛЛ).
4. Металогалогенові лампи (МГЛ).
5. Натрієві лампи високого тиску (НЛВТ).
6. Натрієві лампи низького тиску (НЛНТ).
7. Світлодіодні освітлювальні прилади (СД).

При збереженні нормативних рівнів освітленості за рахунок більш високої світлової віддачі високоефективні джерела світла дають значну економію електроенергії, що можна проілюструвати наступною діаграмою (рис. 10.2).

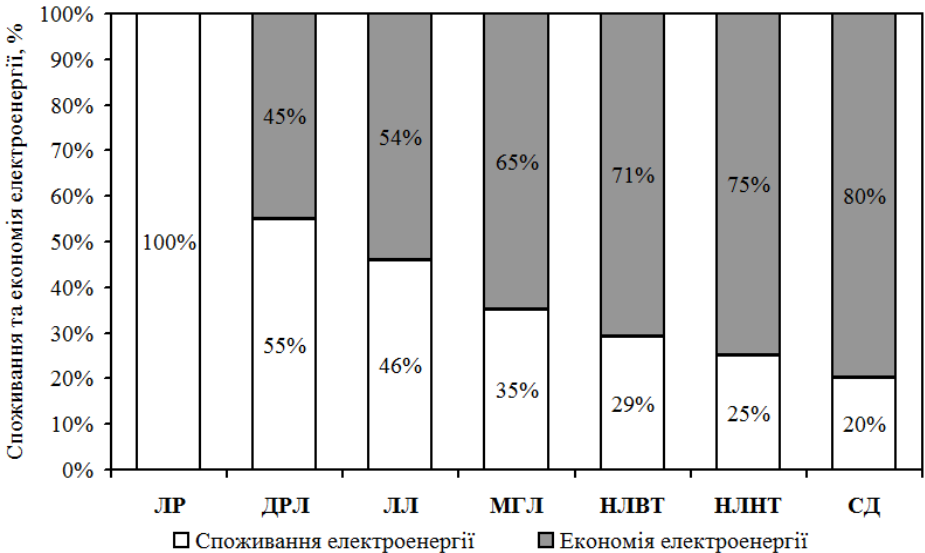


Рис. 10.2. Діаграма енергетичної ефективності різних джерел світла

Значною мірою ефективність освітлення залежить від оптимального вибору та розміщення світильників згідно з конкретними технологічними та архітектурними параметрами приміщень.

Світильники класифікуються за світлотехнічними параметрами і конструктивними характеристиками. Вибираючи світильник необхідно враховувати його конструктивне виконання, силу світла,

розподіл, яскравість і економічність. Від правильного вибору світильника і його розміщення залежить якість освітлення в приміщенні: його рівномірність, розподіл яскравості по внутрішніх поверхнях, ступінь прямого і відбитого блиску і затінення робочого місця, оптимальний розподіл тіней.

Комплексна ефективність світильників, використаних для загального освітлення в приміщеннях, може бути оцінена за допомогою коефіцієнта використання світлового потоку, який являє собою відношення світлового потоку, що падає на робочу поверхню, до загального світлового потоку світильників. Даний коефіцієнт визначається за таблицями в залежності від прийнятого типу світильника, відбивної властивості поверхні приміщення і індексу приміщення. Таким чином, для конкретного приміщення коефіцієнт використання світлового потоку буде тим вище, чим ефективніше обраний світильник, і чим вище відбивна властивість поверхонь приміщення, що пов'язано з фарбуванням їх у більш світліші тони.

Правильний вибір світильників за розподілом сили світла сприяє мінімальним витратам електроенергії. Можлива її економія внаслідок використання світильників з найкращим для заданих умов розподілом, складає 15...20% у приміщеннях невеликої висоти і 20...40% - у високих.

Так, при заміні дифузійних люмінесцентних світильників на дзеркальні можна заощадити до 30% електроенергії.

Сучасні типи світильників комплектуються пускорегулювальними електромагнітними апаратами (ПРА) зі зниженими витратами та електронними ПРА (ЕПРА).

Можливий діапазон значень зменшення витрати електроенергії за рахунок збільшення світлової віддачі комплекту ламп і ПРА у світильниках зі стандартними ЛЛ і КЛЛ становить для:

- ПРА зі зниженими втратами – 6...26%;
- ЕПРА – 14...55%.

Штучне освітлення виробничих приміщень може бути виконано системами загального або комбінованого (загальне і локальне) освітлення. Відповідно до діючих норм штучного освітлення в приміщеннях, де в основному виконуються зорові роботи найвищої, високої і середньої точності що

характеризуються I-IV розрядами, освітлювальні установки повинні бути реалізовані, як правило, системою комбінованого освітлення.

Вибір найбільш відповідної і виправданої у кожному конкретному випадку системи освітлення для точних зорових робіт є завданням галузевого нормування штучного освітлення. У галузевих нормах звичайно вказується рекомендована система освітленості, що допускається, для кожної виробничої ділянки і окремих робочих місць.

Витрати на обладнання локального освітлення значною мірою залежать від щільності розташування робочих місць по приміщенню. При збільшенні щільності робочих місць в приміщенні і відповідно зменшенні площі, що припадає на одного працівника, приведені витрати на локальне освітлення різко зростають. Тому економічна ефективність локального освітлення може бути різною в залежності, від способу організації робочих місць на освітлюваній ділянці. При малій кількості робочих місць в приміщенні застосування системи комбінованого освітлення економічно і енергетично вигідно, оскільки високі освітленості повинні бути створені на малій кількості робочих місць при порівняно невисокій освітленості від загального освітлення по приміщенню в цілому; тоді як при системі загального освітлення цього ж приміщення значно більша освітленість повинна бути забезпечена на всіх робочих місцях, тобто практично за всією площею приміщення. Із збільшенням кількості робочих місць в приміщенні позитивний ефект від застосування системи комбінованого освітлення зменшується. При певній щільності розташування робочих місць економічність обох систем освітлення виявиться однаковою, а при подальшому підвищенні щільності розташування робочих місць на ділянці, використання системи комбінованого освітлення вже не приводить до економії.

Вищенаведене можна проілюструвати відповідною графічною залежністю $W = f(S)$ (рис. 10.3)

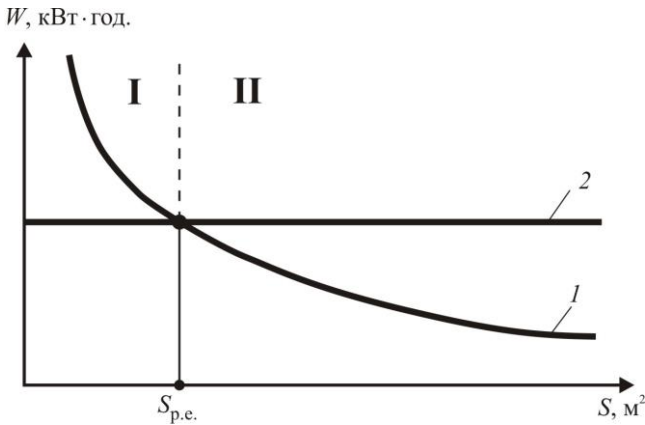


Рис. 10.3. Загальний вигляд залежності втрат електроенергії від площі робочого місця в системі комбінованого (1) і загального (2) освітлення.

На рис. 10.3:

$S_{p.e.}$ – площа робочого місця, на якій системи загального та комбінованого освітлення є рівноеквівалентними;

S – загальна площа приміщення, м²;

W – споживання електроенергії, кВт · год.

Аналіз показує, що при $S \leq S_{p.e.}$ комбіноване освітлення енергетично не ефективне, а при $S > S_{p.e.}$ комбіноване освітлення є енергетично ефективним.

Рекомендації щодо прийняття рішення і енергетична ефективність наводяться в таблиці 10.1.

Примітка: Для розрядів Пв, г, III і IV рекомендується система комбінованого освітлення незалежно від площі, відведеної на одного працівника, при затіненні робочої зони чи специфічних вимог до освітлення. S – середня площа, м² на одного робітника (вираховується діленням всієї площі приміщення на число робочих місць у ньому).

Таблиця 10.1. Рекомендовані області застосування систем загального і комбінованого освітлення і можлива економія електроенергії

№ з/п	Розряд зорової праці	Системи освітлення		Економія електроенергії
		комбіноване	загальне	
1.	I, II а, б	Рекомендується	Не рекомендується	–
2.	IIв, г	Рекомендується при $S > 3$	Рекомендується при $S \leq 3$	до 60 %
3.	III	Рекомендується при $S > 5$	Рекомендується при $S \leq 5$	до 15 %
4.	IVа, б	Рекомендується при $S > 10$	Рекомендується при $S \leq 10$	15-20 %
5.	IVв, г	Не рекомендується	Рекомендується	–

Значна економія електроенергії, що витрачається на освітлення, може бути одержана за рахунок максимального використання природного освітлення в поєднанні з автоматичним керуванням штучним освітленням. Врахування зміни інтенсивності природного світла особливо важливо для приміщень з недостатнім природним освітленням, в яких застосовується система суміщеного освітлення. Під суміщеним освітленням розуміється спосіб освітлення, при якому недостатнє по нормах природне освітлення компенсується штучним освітленням.

Сучасні автоматизовані системи керування освітленням дозволяють контролювати інтенсивність природного освітлення та відповідним чином змінювати рівень штучного освітлення для забезпечення належного рівня освітлення робочого місця (розділ 9 посібника).

Можлива економія електроенергії при регулюванні штучного освітлення в приміщеннях, відповідно до рівня зовнішньої освітленості, залежить від трьох величин: коефіцієнта природної освітленості приміщення (КПО) e ; нормованої освітленості E_n ; імовірності використання природного світла V .

Величина КПО залежить від безлічі параметрів – розташування і розмірів світлопроемів, світлопропускання, скління і т.д. Інтенсивність природного освітлення змінюється протягом дня усередині приміщення в широких межах. Значення КПО для різних приміщень може змінюватися від 1 до 12%. При визначенні часу дії природного освітлення в приміщенні повинна бути врахована та частина робочого часу, для якої зовнішнє освітлення створює в приміщенні освітленість не нижче заданого значення $E_{зov.е}$. Це значення залежить не тільки від зовнішньої освітленості $E_{зov}$, але також від географічної широти місця розташування освітлюваного об'єкту, часу і тривалості робочого дня.

Економія електроенергії за рахунок дискретного керування штучним освітленням може мати місце в тих випадках, коли

$$\frac{E_n}{e} < E_{зovн.}, \quad (10.1)$$

тобто коли денне світло в приміщенні забезпечує необхідну нормовану освітленість E_n .

Якщо $E_n/e > E_{зovн.мах}$, то економія може бути досягнута тільки плавним регулюванням штучного освітлення, що працює в режимі суміщеного.

Якщо $E_n/e < E_{зovн.мах}$, тобто денне природне освітлення приміщення наближається до нормованого значення освітленості E_n , то економія електроенергії від включення-відключення штучного освітлення буде

$$W_{вкл./викл.} = 1 - \frac{E_n}{eE_{зovн.}}, \quad (10.2)$$

а економія від плавного регулювання виражається так:

$$W_{вкл./викл.} = 1 - \frac{E_n}{2eE_{зovн.}} \quad (10.3)$$

10.3. Економія електроенергії при експлуатації освітлювальних приладів

Проблема заощадження електроенергії при експлуатації освітлювальних приладів має як технічні так і організаційні аспекти.

Для комплексного вирішення цієї проблеми необхідне проведення технічного аудиту стану систем освітлення, відповідності її нормативним вимогам та умовам технологічних процесів. При проведенні технічного аудиту досліджуються та аналізуються всі можливі напрямки підвищення ефективності систем освітлення та заощадження електроенергії.

Одним з найбільш результативних заходів є використання сучасних високоефективних енергоощадних джерел світла замість джерел, які мають більш низькі енергетичні параметри.

Орієнтовна економія електроенергії при заміні лампи на більш високоінтенсивні надається в таблиці 10.2.

Таблиця 10.2. Економія електроенергії, пов'язана з заміною ламп на більш ефективні

№ з/п	При заміні ДС	Середня економія ЕЕ, %
1.	ЛР на КЛЛ	60...80
2.	ЛР* на ЛЛ	40...54
3.	ЛР* на ДРЛ	41...47
4.	ЛР* на МГЛ	54...65
5.	ЛР* на НЛВТ	57...71
6.	ЛЛ на МГЛ	20...23
7.	ДРЛ на МГЛ	30...40
8.	ДРЛ на НЛВТ	38...50
9.	ДРЛ на ЛЛ	20...22
10.	ДРЛ на СД	40...60

Значні резерви заощадження електроенергії полягають в заміні світильників на більш ефективні, які мають вищий коефіцієнт корисної дії. Наприклад світильники с опаловими розсіювачами

мають коефіцієнт корисної дії близько 50%. Заміна опалових розсіювачів на призматичні дає змогу збільшити коефіцієнт корисної дії люмінесцентних світильників до 75%. Високою ефективністю відзначаються світильники з відкритими люмінесцентними лампами. Відсутність екранних і розсіювальних елементів дозволяє піднести ККД світильників до 85% і більше.

Можлива її економія внаслідок використання світильників з найкращим для заданих умов розподілом складає 15...20% у приміщеннях невеликої висоти і 20...40% – у високих.

Як відомо освітлювальні електроприймачі чутливі до якості електроенергії в точках підключення. Основним з факторів, які впливають на величину світлового потоку та витрати енергії є відхилення напруги від номінального рівня. Підвищення напруги призводить до значних перевитрат енергії (табл. 10.3).

Таблиця 10.3. Збільшення споживаної потужності в залежності від перевищення напруги

№ з/п	Збільшення використаної потужності, % для ламп	Перевищення напруги, %						
		0	1	2	3	5	7	10
1.	Розжарювання	0	1,6	3,2	4,7	8,1	11,5	16,4
2.	Люмінесцентних	0	2,0	4,0	6,0	10,0	14,0	20,0
3.	Ртутних ДРЛ	0	2,4	4,9	7,2	12,2	17,0	24,3
4.	Металогалогенних	0	1,5-2	3-4	4,5-5	7,5-10	10,5-14	15-18
5.	Натрієвих	0	2,8	5,6	8,4	14	19,6	28
6.	Високого тиску	0	2,0	8,0	11	18	23	34

Для запобігання перевитрат електроенергії необхідно застосовувати системи стабілізації напруги живлення.

Економію електроенергії, зумовлену стабілізацією напруги в освітлювальних мережах, можна визначити по наступних формулах:

- для ламп розжарювання:

$$\Delta W = P_{\text{ном}} k_U^{1,58} T_p \left(1 + \frac{\Delta U}{100} \right); \quad (10.4)$$

- для люмінесцентних ламп с компенсованими пускорегулюючими апаратами типа 2УБК:

$$\Delta W = P_{\text{ном}} T_p (11,1 \kappa_U - 11,1) \left(k_{\text{ПРА}} + \frac{\Delta U}{100} \right) \cos \varphi; \quad (10.5)$$

- для ламп ДРЛ:

$$\Delta W = P_{\text{ном}} T_p (2,43 \kappa_U - 1,43) \left(k_{\text{ПРА}} + \frac{\Delta U}{100} \right) \cos \varphi, \quad (10.6)$$

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність освітлювальної установки;

$$\kappa_U = \frac{U_{\text{ф}} - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}}, \quad (10.7)$$

де κ_U – відносне відхилення напруги;

$U_{\text{ф}}$ – фактичний рівень напруги;

$k_{\text{ПРА}}$ – коефіцієнт, враховуючий втрати потужності в пускорегулюючій апаратурі;

ΔU – втрати напруги в мережі;

T_p – річне число годин використання освітлювальної установки.

При визначені шляхів економії електроенергії необхідно проаналізувати технологічні вимоги приміщень до рівня освітлення, оскільки ці вимоги можуть змінюватись в залежності від технологічного циклу. Тому за допомогою автоматизованих або ручних систем керування необхідно знижувати рівень освітлення і відповідно споживання електроенергії.

Для приміщень з епізодичним використанням освітлювальної установки або там, де можливо знизити освітленість, можна отримати економію за рахунок зниження напруги. Економічний ефект за рахунок зниження напруги приведений у таблиці 10.4.

Таблиця 10.4 Економічний ефект за рахунок зниження напруги

№ з/п	Тип лампи	Рівень напруги, % $U_{\text{НОМ}}$	Світловий потік, % $\Phi_{\text{НОМ}}$	Економія електроенергії % $W_{\text{НОМ}}$
1.	Розжарювання	95	68	15
		85	56	23
2.	Ртутні типу ДРЛ	90	67	24
		85	51	36
3.	Люмінесцентні (з компенсованим ПРА)	90	90	13
		85	84	19
4.	Ксенонові типу ДКсТ	90	55	35
		85	33	53

Реалізація комплексної системи енергозбереження повинна базуватися не тільки на застосуванні сучасного енергоощадного обладнання, а також на належному рівні його експлуатації. Стосовно систем освітлення повинні передбачатися регулярні заходи щодо заміни ламп, ПРА, очищення світильників.

Стосовно електричних ламп поняття «термін служби» має два чітко визначених значення:

- інтервал часу, після якого лампа перестає працювати, це – тривалість горіння лампи;
- «економічний термін служби» лампи – це інтервал часу, після якого світловий потік лампи знижується в результаті нормального процесу старіння до такого низького рівня, що економічно виправданою стає заміна лампи, не дивлячись на те, що всі електричні ланцюги лампи ще зберігають працездатність.

Перше визначення характерне для ламп розжарювання, друге – для газорозрядних ламп. У другому випадку, якщо продовжувати експлуатацію ламп до настання електричної відмови, їх світловий

потік може знизитися на 5%, або більше, в порівнянні з первинним значенням. Практично, газорозрядні лампи слід замінювати в найбільш економічний для конкретної установки час.

У всіх освітлювальних установках доцільно проводити групову заміну ламп із запланованою періодичністю. Аналогічно, при технічному обслуговуванні люмінесцентних світильників із стартерами, звичайно буває економічно виправданим проводити групову заміну вимикачів, стартерів, рівно в два рази рідше, ніж ламп, тобто при кожній другій заміні ламп.

Оптимальний період заміни залежить від витрат на електроенергію і витрат на оплату робочої сили для конкретної установки. Загальне правило полягає в тому, що групова заміна ламп повинна проводитися тоді, коли вартість витраченої даремно енергії стає рівній вартості заміни ламп. Додаткове обмеження полягає в тому, що лампи слід замінювати до того, як їх світловий потік знизиться до 70 % від первинного значення. Щоб одержати криву світлового старіння для певної лампи слід звернутися до фірми-виробника.

Для зниження витрати електроенергії освітлювальними установками необхідно здійснювати контроль за справністю баластних і компенсуючих конденсаторів в ПРА для люмінесцентних ламп. При пробі баластного конденсатора в індуктивно-ємкісних ПРА дволампових люмінесцентних світильників приблизно в 4,4 рази збільшується реактивний струм, споживаний світильником, і відповідно зростають втрати потужності в електричній мережі. При пробі компенсуючого конденсатора, встановленого паралельно мережевим клемам світильника, реактивний струм збільшується в 2 рази, а втрати потужності в 4 рази.

Для люмінесцентних ламп характерний режим роботи з замкнутими контактами стартера тліючого розряду (світяться тільки кінці лампи). У такому режимі струм світильника зростає в 1,2-1,8 разів, в порівнянні з номінальним струмом, з одночасним різким зниженням світлового потоку.

Невчасне очищення світильників може понизити освітленість на 15-30 % і більше, що призводить до зниження продуктивності праці і якості продукції, погіршення психофізіологічного стану

тих, що працюють, підвищення травматизму. У зв'язку з цим на кожному підприємстві повинен бути графік очищення світильників, який підтверджується документально. Рекомендовані терміни чищення світильників наступні:

- у приміщеннях із значним виділенням пилю, диму, кіптяви (цехи доменні, мартенівські, ливарні, ковальські, цементних заводів, збагачувальних фабрик, підготовчі відділи текстильних фабрик і т.і.) – 2 рази на місяць;
- у цехах з середнім виділенням (прокатні, механічні, складальні, металокопструкцій і т.п.) – 1 раз на місяць;
- з незначним виділенням – 1 раз на 3 місяці;
- установки зовнішнього освітлення – 1 раз на 4 місяці.

При проведенні регулярного протирання скла виробничих будівель і приміщень (не менше 2 разу на рік) можна скоротити термін горіння ламп при двозмінній роботі не менше ніж на 15 % у зимовий час і на 50-70 % у літній час. Економія електроенергії в даному випадку визначається виразом:

$$\Delta W = \alpha P_{\text{св}} \kappa_{\text{с}} T, \quad (10.8)$$

де α – частка економії електроенергії (процентна економія, що ділиться на 100);

$P_{\text{св}}$ – потужність світильників даної групи, кВт;

T – час роботи освітлювальної установки, год.

Для підвищення коефіцієнта використання природного і штучного освітлення поверхні приміщень виробничих і громадських будівель слід фарбувати в світлі тони, що дозволить:

- понизити число встановлених світильників, за умови забезпечення заданих норм освітленості;
- підвищити освітленість до нормованих значень при існуючому числі або незначному збільшенні числа світильників.

Всі поверхні певною мірою поглинають світло. Чим менша їх відбивна здатність, тим більше світла вони поглинають. З цього виходить, що поверхні, забарвлені в світлі колірні тони, є ефективнішими, проте їх слід регулярно фарбувати, мити або

наново обклеювати з тим, щоб забезпечити економічне використання освітлення. Віддзеркалення від кольорових поверхонь в кімнаті може позначитися на кількості і колірному складі світла на робочих поверхнях.

10.4. Методика розрахунку економії електроенергії в діючих освітлювальних установках за результатами енергетичного аудиту

Проводиться розрахунок показників енергоспоживання на підставі вище перелічених даних, одержаних в результаті інструментального обстеження об'єкту.

Встановлена потужність, Вт:

$$P_i = P_{\text{л}} k_{\text{ПРА}} N, \quad (10.9)$$

де P_i – потужність освітлювальної установки i -го приміщення в обстежуваному об'єкті;

$k_{\text{ПРА}}$ – коефіцієнт втрат в пускорегулюючій апаратурі освітлювальних приладів;

$P_{\text{л}}$ – потужність лампи;

N – кількість однотипних ламп в освітлювальній установці i -го приміщення.

Річне і питоме енергоспоживання, кВт·год/рік:

$$\Delta W_{\text{р}} = \sum_{i=1}^n W_{\text{р}i} = \sum_{i=1}^n P_i T_{\text{р}i} k_{\text{в}i}, \quad (10.10)$$

де $\Delta W_{\text{р}}$ – сумарне річне споживання електроенергії;

$W_{\text{р}i}$ – річне споживання i -го приміщення;

$T_{\text{р}i}$ – річне число годин роботи системи i -го приміщення;

$k_{\text{в}i}$ – коефіцієнт використання встановленої електричної потужності i -го приміщення ($k_{\text{в}i} = 1$).

Річне питоме споживання електроенергії, кВт·год/м²:

$$W_{\text{р.пит}} = \frac{W_{\text{р}}}{\sum_{i=1}^n S_i}, \quad (10.11)$$

де $W_{\text{р.пит}}$ – річне питоме споживання електроенергії;

S_i – площа i -го приміщення в досліджуваному об'єкті.

Питомі показники енергоспоживання або встановленої потужності (Вт/м²) дозволяють на основі норм приблизно ($\pm 20\%$) оцінити загальний потенціал економії енергії.

Для точнішої оцінки по кожному заходу необхідно виконати розрахунок економії електроенергії по нижчеприведеній методиці.

Спочатку необхідно визначити фактичне середнє значення освітленості з урахуванням відхилення напруги в мережі від номінального по формулі, лк:

$$E_{\text{ф}} = \frac{E'_{\text{ф}} U_{\text{н}}}{U_{\text{н}} - k(U_{\text{н}} - U_{\text{сер}})}, \quad (10.12)$$

де $E_{\text{ф}}$ – зміряна фактична освітленість, лк;

k – коефіцієнт, що враховує зміни світлового потоку лампи при відхиленні напруги живлячої мережі ($k = 4$ для ламп розжарювання, $k = 2$ для газорозрядних ламп);

$U_{\text{н}}$ – номінальна напруга мережі, В;

$U_{\text{сер}}$ – середнє фактичне значення напруги, В,
($U_{\text{сер}} = (U_1 - U_2)/2$);

U_1, U_2 – значення напруги мережі на початку і в кінці вимірювання.

Для обліку відхилення фактичної освітленості від нормативних значень визначаємо коефіцієнт приведення:

$$k_{\text{пi}} = E_{\text{фi}} / E_{\text{нi}}, \quad (10.13)$$

де $k_{\text{пi}}$ – коефіцієнт приведення освітленості i -го приміщення;

$E_{\phi i}$ – нормоване значення освітленості в i -ому приміщенні;

E_n – фактичне значення освітленості у в i -ому приміщенні.

Потенціал річної економії електроенергії в обстежуваному приміщенні розраховується по формулі, кВт·год/рік:

$$\Delta W_p = \sum_{i=1}^n k_{\phi i} \sum_{k=1}^m \Delta W_i^k, \quad (10.14)$$

де ΔW_i^k – потенціал економії електроенергії в кВт·год/рік для i -го приміщення і k -го заходу.

До основних заходів відносяться:

1. Перехід на інший тип джерела світла з вищою світловіддачею (лм/вт). Економія електроенергії в результаті даного заходу визначається по формулі, кВт·год/рік:

$$\Delta W_i = W_{pi} (1 - k_{\phi i} k_{зпi}), \quad (10.15)$$

де $k_{\phi i}$ – коефіцієнт ефективності заміни типу джерела світла;

$k_{зпi}$ – коефіцієнт запасу, що враховує зниження світлового потоку лампи протягом терміну служби [17] (при заміні ламп з близьким по значенню $k_{зп}$, але з різною ефективністю k_{ϕ} виключається або коректується, окрім випадку коли обстеження проводилося після групової заміни джерел світла).

$$k_{\phi i} = \eta / \eta_N, \quad (10.16)$$

де η – світловіддача існуючого джерела світла, лм/вт;

η_N – світловіддача пропонованого до установки джерела світла, лм/вт.

2. Підвищення ККД існуючих освітлювальних приладів унаслідок їх чищення. Економія електроенергії в результаті даного заходу визначається по формулі, кВт·год/рік:

$$\Delta W_i = W_{pi} k_{\chi i}, \quad (10.17)$$

де k_{ci} – коефіцієнт ефективності чищення світильників:

$$k_{ci} = 1 - \gamma_c - \beta_c \exp\left(-\frac{t}{t_c}\right) \quad (10.17)$$

де γ_c , β_c , t_c – постійні для заданих умов експлуатації світильників [17];

t – тривалість експлуатації світильників між двома найближчими чищеннями.

3. Підвищення ефективності використання відбитого світла. Збільшення коефіцієнтів віддзеркалення поверхонь приміщень на 20% і більше (фарбування в світліші тони, білення, миття) дозволяє економити 5-15% електроенергії, унаслідок збільшення рівня освітленості від природного і штучного освітлення. Ефективність даного заходу залежить від великого числа чинників: розмірів приміщення, коефіцієнтів віддзеркалення поверхонь приміщення, розташування світлопроміжків, коефіцієнту природної освітленості (КПО), режиму роботи людей в приміщенні, розподілу освітленості і розташування світильників. Тому точніше значення економії електроенергії можна набути на підставі світлотехнічного розрахунку методом коефіцієнта використання [17].

4. Підвищення ефективності використання електроенергії при автоматизації керування освітленням.

Ефективність даного заходу є багатофакторною, методика розрахунку економії електроенергії, представлена в [18], складна для використання при енергообстеженні, але може бути рекомендована при необхідності точної оцінки.

На підставі досвіду впровадження систем автоматизації економію від даного заходу можна визначити по наступній формулі, кВт·год/рік:

$$\Delta W_i = W_{pi} \cdot (k_{cai} - 1), \quad (10.18)$$

де k_{eai} – коефіцієнт ефективності автоматизації керування освітленням, який залежить від рівня складності системи керування.

У таблиці 10.5 представлені значення k_{eai} для підприємств і організацій із звичайним режимом роботи (1 зміна).

Таблиця 10.5. Ефективність систем керування освітленням

№ з/п	Рівень складності системи автоматичного керування освітленням	k_{eai}
1.	Контроль рівня освітленості і автоматичне вмикання і відключення системи освітлення при критичному значенні E	1,1 – 1,15
2.	Зонне керування освітленням (вмикання і вимикання освітлення дискретно, в залежності від зонного розподілення природного освітлення)	1,2 – 1,25
3.	Плавне керування потужністю і світловим потоком світильників в залежності від розподілення природного освітлення	1,3 – 1,4

5. Установка енергоефективної пускорегулюючої апаратури (ПРА), кВт·год/рік:

$$\Delta W_i = W_{pi} \left(1 - \frac{K_{ПРАi}^N}{K_{ПРАi}} \right), \quad (10.19)$$

де $K_{ПРАi}$ – коефіцієнт втрат в ПРА існуючих світильників системи освітлення i -го приміщення;

$K_{ПРАi}^N$ – коефіцієнт втрат у встановлюваних ПРА.

6. Заміна світильників є найбільш ефективним комплексним заходом, оскільки включає заміну ламп, підвищення ККД світильника, оптимізацію світлорозподілення світильника і його розташування. Для точної оцінки економії електроенергії

необхідно проводити світлотехнічний розрахунок освітленості для передбачуваних до установки світильників методом коефіцієнта використання або точковим методом [17]. По розрахунковому значенню встановленої потужності (із світлотехнічного розрахунку) економія електроенергії визначається по формулі, кВт·год/рік:

$$\Delta W_i = W_{pi} - P_i^N T_{pi}, \quad (10.20)$$

де P_i^N – встановлена потужність після заміни світильників;

T_{pi} – річне число годин роботи системи штучного освітлення i -го приміщення.

При спрощеній оцінці (при заміні світильників на аналогічні по світлорозподіленню і розташуванню) розрахунок проводиться по наступній формулі, кВт·год/рік:

$$\Delta W_i = W_{pi} \left(1 - k_{\text{ефi}} k_{\text{зпi}} k_{\text{чi}} k_{\text{свi}} \frac{K_{\text{ПРАi}}^N}{K_{\text{ПРАi}}} \right), \quad (10.21)$$

де $k_{\text{свi}}$ – коефіцієнт, що враховує підвищення ККД світильника, кВт·год/рік:

$$k_{\text{свi}} = q_i / q_i^N, \quad (10.22)$$

де q_i – паспортний ККД існуючих світильників;

q_i^N – паспортний ККД передбачуваних до установки світильників.

Розрахунок економії електроенергії при заміні світильників враховує заходи № 1, 2, 5, тому їх слід виключати при розрахунку загальної економії електроенергії в i -ому приміщенні.

У разі великого числа однотипних приміщень в обстежуваній будівлі зі схожими параметрами розрахунок проводиться за допомогою питомих показників економії електроенергії, кВт·год/рік:

$$\Delta W_{\text{пит}}^j = \Delta W_i^j S_i^j, \quad (10.23)$$

де $\Delta W_{\text{пит}}^j$ – питома економія електроенергії для j -го типу приміщення;

ΔW_i^j – розрахункова економія електроенергії для i -го приміщення;

S_i^j – площа i -го приміщення.

Загальна економія електроенергії в системах освітлення обстежуваного об'єкту визначається по формулі, кВт·год/рік:

$$\Delta W_p = \sum_{j=1}^N \Delta W_{\text{пит}}^j S^j, \quad (10.24)$$

де S^j – загальна площа приміщень i -го типу;

N – кількість типів приміщень.

По представленій вище методиці проведений розрахунок економії електроенергії на об'єктах де проводився енергоаудит. В середньому економічно реальний потенціал економії електроенергії в системах освітлення склав 15-20%.

В якості розрахункового прикладу розглянемо наступний.

Система освітлення виконана світильниками типу ЛПО 02 2x40 з ККД = 52%; використані лампи типу ЛБ 40 із $\eta = 75$ лм/Вт; режим роботи – 1 зміна (з 8 до 17 годин); кількість світильників 15 штук; розміри приміщення 5x15x3 м; середньозважений коефіцієнт віддзеркалення поверхонь приміщення $\rho = 0,3$; нормована освітленість 300 лк; фактична освітленість 250 лк; кількість годин роботи штучного освітлення в рік $T_p = 1300$ годин; напруга мережі під час вимірювань $U_m = 220$ В; коефіцієнт природної освітленості відповідає нормі, коефіцієнт використання 0,92; на момент вимірювань пройшло 360 днів з дня останнього чищення. Необхідно розрахувати заходи з економії.

Розрахунок:

1. Встановлена потужність:

$$P = P_{\text{л}} K_{\text{ПРА}} N = 40 \cdot 1,2 \cdot 30 = 1440 \text{ Вт};$$

2. Річне енергоспоживання:

$$W = P T_{\text{р}} k_{\text{в}} = 1440 \cdot 1300 \cdot 0,92 = 1872 \text{ кВт·год/рік};$$

3. Економія за рахунок переходу на люмінесцентні лампи зниженої потужності типу TL-D 36/84 із $\eta_N = 93 \text{ лм/Вт}$:

$$\Delta W^1 = W_{\text{р}} (1 - k_{\text{сф}}) = 1872 \cdot (1 - 0,81) = 356 \text{ кВт·год/рік};$$

4. Економія за рахунок чищення світильників:

$$k_{\text{чи}} = 1 - \gamma_{\text{с}} - \beta_{\text{с}} \exp\left(-\frac{t}{t_{\text{с}}}\right) = 0,03;$$

$$\Delta W^2 = W_{\text{р}} k_{\text{чи}} = 1872 \cdot 0,03 = 56 \text{ кВт·год/рік};$$

5. Економія енергії при підвищенні коефіцієнта віддзеркалення поверхонь приміщення до $\rho = 0,5$ (фарбування, білення) складе 10% або

$$\Delta W^3 = 187 \text{ кВт·год/рік};$$

6. Економія енергії в результаті впровадження системи автоматичного включення і відключення освітлення:

$$\Delta W^4 = W_{\text{р}} (k_{\text{са}} - 1) = 1872 \cdot (1,1 - 1) = 187 \text{ кВт·год/рік};$$

7. Економія енергії унаслідок установки електронних ПРА:

$$\Delta W^5 = W_p \left(1 - \frac{K_{\text{ПРА}}^N}{K_{\text{ПРА}}} \right) = 1872 \cdot (1 - 0,92) = 150 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік};$$

8. Економія за рахунок установки нових світильників з вищим ККД = 75%, але з аналогічним світлорозподіленням

$$\Delta W^6 = W_p(1 - k_{\text{св}}) = 1872 \cdot (1 - 0,52/0,75) = 580 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік};$$

9. Загальний резерв економії енергії складає:

$$\Delta W_{\Sigma p} = k_{\Pi} \sum_{k=1}^m \Delta W_i^k = 250/300 \cdot 1516 = 1263 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік}.$$

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Под ред. Г.М. Кнорринга. Л., «Энергия», 1976. 384 с. с ил.
2. Епанешников М.М. Электрическое освещение. Учеб. Пособие для студентов высш.учеб. заведений. Изд. 4-е, перераб. М., «Энергия», 1973. 352 с. с ил.
3. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1983. 472 с. с ил.
4. Чумаков В.М. Справочник по монтажу осветительных установок под ред. Б.А.Делибаша, А.Д.Смирнова, Б.А.Соколова и П.Ф.Соловьева, М., «Энергия», 1973. 192 с.с ил.
5. Ефимкина В.Ф., Софронов Н.Н. Светильники з газоразрядними лампами високого тиснення – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 104 с., ил.
6. ДБН В.2.5–28:2016 «Природне і штучне освітлення».
7. Ключев С.А. Освещение производственных помещений.- М.: Энергия, 1979. – 152 с.
8. Отраслевые нормы, инструкции по эксплуатации осветительных установок и рекомендации по искусственному освещению основных цехов предприятий станкостроительной и инструментальной промышленности. – М.: НИИ информации по машиностроению, 1974. – 92 с.
9. Взовская Т.М., Фаермарк М.А. О типовых решениях осветительных установок светотехнических заводов. – Светотехника, 1978, № 10, с. 6-7.
10. Взовская Т.М., Фаермарк М.А. Типовые решения осветительных установок основных производственных цехов предприятий низковольтной аппаратуры. - Светотехника, 1978, № 11, с. 20-24.
11. Кунгс Я.А. Автоматизация управления электрическим освещением.- М.: Энергоатомиздат, 1989.- 112 с.
12. В.М. Підпригора Електричні джерела світла: короткий огляд. –Електроінформ (енергетика, електротехніка, електроніка). - № 2, 2003 г. с.26

13. Федоров А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: Учеб. Пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.: ил.

14. Каталог фирмы «ELECTRUM» источники света и осветительные приборы, 2007 г.

15. ГОСТ 21.101-97 «Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации».

16. ГОСТ 21.608-84 «Система проектной документации для строительства. Внутреннее электрическое освещение. Рабочие чертежи».

17. О.С.Чечетко, Л.О. Омецінська " Впровадження енергоефективного освітлення в Житомирській області" Энергосбережение, энергетика, энергоаудит № 8, 2007 г

18. Р.В. Пилипчук, В.В. Щиренко "Більше світла – менше спожитої електроенергії. Енергоощадність в освітленні" Електроінформ, № 3, 2002 р., №1, 2003 р.

19. Т.В. Анчарова, С.И. Гамазин, В.В. Шевченко Экономия электроэнергии на промышленных предприятиях. – Москва, «Высшая школа», 1990 г.

20. О. В. Бабенко, А. В. Гадай, О. М. Захарчук. Автоматичне керування освітленням. Наукові праці ВНТУ, 2013, № 1.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Технічні характеристики вуличних енергозберігаючих світлодіодних світильників



Рис А.1. Зовнішній вигляд енергозберігаючих світлодіодних світильників в литому корпусі типу СЭС 2-35Л1...СЭС 2-75Л1 (виробник – ПАТ «НВТ «Радій», Україна, м. Кропивницький)

Таблиця А.1. Технічні характеристики світильників СЭС 2-35Л1...СЭС 2-75Л1

№ з/п	Параметр	Значення
1	Потужність, Вт	35...75
2	Світловий потік, лм	5075...10875
3	Габаритні розміри, ДхШхВ, мм	760x300x155
4	Маса, кг	5,2
5	Робоча температура, °С	от -40 до +50
6	Клас захисту від ураження струмом	I
7	Ступінь захисту IP	66
8	Напруга живлення, В / частота, Гц	DC155-270В, АС90-305В/50-60Гц
9	Індекс кольоропередачі (Ra)	≥ 75
10	Коефіцієнт потужності	≥ 0,97
11	Пульсація світлового потоку	≤ 1 %
12	Клас світлорозподілу	П
13	Колірна температура, К	2 500 - 7 000
14	Термін служби	100 000 годин
15	Гарантія	5 років
16	Кут розсіювання, градуси	45x154, 70x140



Рис А.2. Зовнішній вигляд енергозберігаючих світлодіодних світильників в литому корпусі типу СЭС 2-35Л2...СЭС 2-75Л2 (виробник – ПАТ «НВТ «Радій», Україна, м. Кропивницький)

Таблиця А.2. Технічні характеристики світильників СЭС 2-35Л2...СЭС 2-75Л2

№ з/п	Параметр	Значення
1	Потужність, Вт	35...75
2	Світловий потік, лм	5075...10875
3	Габаритні розміри, ДхШхВ, мм	860х330х160
4	Маса, кг	8
5	Робоча температура, °С	от -40 до +50
6	Клас захисту від ураження струмом	I
7	Ступінь захисту ІР	66
8	Напруга живлення, В / частота, Гц	DC155-270В, AC90-305В/50-60Гц
9	Індекс кольоропередачі (Ra)	≥ 75
10	Коефіцієнт потужності	≥ 0,97
11	Пульсація світлового потоку	≤ 1 %
12	Клас світлорозподілу	П
13	Колірна температура, К	2 500 - 7 000
14	Термін служби	100 000 годин
15	Гарантія	5 років
16	Кут розсіювання, градуси	45х154, 70х140



Рис А.3. Зовнішній вигляд енергозберігаючих світлодіодних світильників в литому корпусі типу СЭС 3-60ЛЗ...СЭС 3-100ЛЗ (виробник – ПАТ «НВТ «Радій», Україна, м. Кропивницький)

Таблиця А.3. Технічні характеристики світильників СЭС 3-60ЛЗ...СЭС 3-100ЛЗ

№ з/п	Параметр	Значення
1	Потужність, Вт	60...100
2	Світловий потік, лм	8700...14500
3	Габаритні розміри, ДхШхВ, мм	925x365x165
4	Маса, кг	7
5	Робоча температура, °С	от -40 до +50
6	Клас захисту від ураження струмом	I
7	Ступінь захисту ІР	66
8	Напруга живлення, В / частота, Гц	DC155-270В, AC90-305В/50-60Гц
9	Індекс кольоропередачі (Ra)	≥ 75
10	Коефіцієнт потужності	≥ 0,97
11	Пульсація світлового потоку	≤ 1 %
12	Клас світлорозподілу	П
13	Колірна температура, К	2 500 - 7 000
14	Термін служби	100 000 годин
15	Гарантія	5 років
16	Кут розсіювання, градуси	45x154, 70x140



Рис А.4. Зовнішній вигляд енергозберігаючих світлодіодних світильників в литому корпусі типу СЭС 1-15Л4...СЭС 1-40Л4 (виробник – ПАТ «НВТ «Радій», Україна, м. Кропивницький)

Таблиця А.4. Технічні характеристики світильників СЭС 1-15Л4...СЭС 1-40Л4

№ з/п	Параметр	Значення
1	Потужність, Вт	15...40
2	Світловий потік, лм	2175...5800
3	Габаритні розміри, ДхШхВ, мм	445x195x205
4	Маса, кг	2,3
5	Робоча температура, °С	от -40 до +50
6	Клас захисту від ураження струмом	I
7	Ступінь захисту IP	66
8	Напруга живлення, В / частота, Гц	DC155-270В, AC90-305В/50-60Гц
9	Індекс кольоропередачі (Ra)	≥ 75
10	Коефіцієнт потужності	≥ 0,97
11	Пульсація світлового потоку	≤ 1 %
12	Клас світлорозподілу	П
13	Колірна температура, К	2 500 - 7 000
14	Термін служби	100 000 годин
15	Гарантія	5 років
16	Кут розсіювання, градуси	45x154, 70x140



Рис А.5. Зовнішній вигляд енергозберігаючих світлодіодних світильників в литому корпусі типу СЭС 1-15Л5...СЭС 1-40Л5 (виробник – ПАТ «НВТ «Радій», Україна, м. Кропивницький)

Таблиця А.5. Технічні характеристики світильників СЭС 1-15Л5...СЭС 1-40Л5

№ з/п	Параметр	Значення
1	Потужність, Вт	15...40
2	Світловий потік, лм	2175...5800
3	Габаритні розміри, ДхШхВ, мм	540x230x130
4	Маса, кг	4,2
5	Робоча температура, °С	от -40 до +50
6	Клас захисту від ураження струмом	I
7	Ступінь захисту IP	66
8	Напруга живлення, В / частота, Гц	DC155-270В, AC90-305В/50-60Гц
9	Індекс кольоропередачі (Ra)	≥ 75
10	Коефіцієнт потужності	≥ 0,97
11	Пульсація світлового потоку	≤ 1 %
12	Клас світлорозподілу	П
13	Колірна температура, К	2 500 - 7 000
14	Термін служби	100 000 годин
15	Гарантія	5 років
16	Кут розсіювання, градуси	45x154, 70x140



Рис А.6. Зовнішній вигляд енергозберігаючих світлодіодних світильників в литому корпусі типу СЭС 3-60Л6...СЭС 3-100Л6 (виробник – ПАТ «НВТ «Радій», Україна, м. Кропивницький)

Таблиця А.6. Технічні характеристики світильників СЭС 3-60Л6...СЭС 3-100Л6

№ з/п	Параметр	Значення
1	Потужність, Вт	60...100
2	Світловий потік, лм	8700...14500
3	Габаритні розміри, ДхШхВ, мм	1005x400x210
4	Маса, кг	12,5
5	Робоча температура, °С	от -40 до +50
6	Клас захисту від ураження струмом	I
7	Ступінь захисту IP	66
8	Напруга живлення, В / частота, Гц	DC155-270В, AC90-305В/50-60Гц
9	Індекс кольоропередачі (Ra)	≥ 75
10	Коефіцієнт потужності	≥ 0,97
11	Пульсація світлового потоку	≤ 1 %
12	Клас світлорозподілу	П
13	Колірна температура, К	2 500 - 7 000
14	Термін служби	100 000 годин
15	Гарантія	5 років
16	Кут розсіювання, градуси	45x154, 70x140



Рис А.7. Зовнішній вигляд енергозберігаючих світлодіодних світильників в литому корпусі типу СЭС 1-25Л8...СЭС 1-65Л8 (виробник – ПАТ «НВТ «Радій», Україна, м. Кропивницький)

Таблиця А.7. Технічні характеристики світильників СЭС 1-25Л8...СЭС 1-65Л8

№ з/п	Параметр	Значення
1	Потужність, Вт	25...65
2	Світловий потік, лм	3375...8775
3	Габаритні розміри, ДхШхВ, мм	675x315x155
4	Маса, кг	5,2
5	Робоча температура, °С	от -40 до +50
6	Клас захисту від ураження струмом	I
7	Ступінь захисту по IP	66
8	Напруга живлення, В / частота, Гц	DC155-270В, АС90-305В/50-60Гц
9	Індекс кольоропередачі (Ra)	≥ 75
10	Коефіцієнт потужності	≥ 0,97
11	Пульсація світлового потоку	≤ 1 %
12	Клас світлорозподілу	П
13	Колірна температура, К	2 500 - 7 000
14	Термін служби	100 000 годин
15	Гарантія	5 років
16	Кут розсіювання, градуси	115x115



Рис А.8. Зовнішній вигляд енергозберігаючих світлодіодних світильників в литому корпусі типу СЭС 1-65Л11...СЭС 1-190Л11 (виробник – ПАТ «НВТ «Радій», Україна, м. Кропивницький)

Таблиця А.8. Технічні характеристики світильників СЭС 1-65Л11...СЭС 1-190Л11

№ з/п	Параметр	Значення
1	Потужність, Вт	65...190
2	Світловий потік, лм	9430...27550
3	Габаритні розміри, ДхШхВ, мм	765x381x131
4	Маса, кг	10,3
5	Робоча температура, °С	от -40 до +50
6	Клас захисту від ураження струмом	I
7	Ступінь захисту по ІР	66
8	Напруга живлення, В / частота, Гц	DC155-270В, AC90-305В/50-60Гц
9	Індекс кольоропередачі (Ra)	≥ 75
10	Коефіцієнт потужності	≥ 0,97
11	Пульсація світлового потоку	≤ 1 %
12	Клас світлорозподілу	П
13	Колірна температура, К	2 500 - 7 000
14	Термін служби	100 000 годин
15	Гарантія	5 років
16	Кут розсіювання, градуси	115x115



Рис А.9. Зовнішній вигляд енергозберігаючих світлодіодних світильників в литому корпусі типу СЭС 1-10Л12...СЭС 1-30Л12 (виробник – ПАТ «НВТ «Радій», Україна, м. Кропивницький)

Таблиця А.9. Технічні характеристики світильників СЭС 1-10Л12...СЭС 1-30Л12

№ з/п	Параметр	Значення
1	Потужність, Вт	10...30
2	Світловий потік, лм	1450...4360
3	Габаритні розміри, ДхШхВ, мм	385x115x80
4	Маса, кг	1,7
5	Робоча температура, °С	от -40 до +50
6	Клас захисту від ураження струмом	I
7	Ступінь захисту по IP	66
8	Напруга живлення, В / частота, Гц	DC155-270В, АС90-305В/50-60Гц
9	Індекс кольоропередачі (Ra)	≥ 75
10	Коефіцієнт потужності	≥ 0,97
11	Пульсація світлового потоку	≤ 1 %
12	Клас світлорозподілу	П
13	Колірна температура, К	2 500 - 7 000
14	Термін служби	100 000 годин
15	Гарантія	5 років
16	Кут розсіювання, градуси	115x115

ДОДАТОК Б

Довідкова інформація для проведення світлотехнічних та електротехнічних розрахунків систем освітлення

Таблиця Б.1. Рекомендовані значення відношення $\lambda = L/h$ для світильників з різними значеннями КСС

Типова крива	λ_c	λ_e
К (концентрована)	0,6	0,6
Г (глибока)	0,9	1,0
Д (косинусна)	1,4	1,6
М (рівномірна)	2,0	2,6
Л (напівширока)	1,6	1,8

Примітка. Значеннями λ_c слід користуватися у випадках, коли збільшення λ не приводить до застосування ламп зі збільшеною світловою віддачею; значеннями λ_e – у всіх інших випадках.

Таблиця Б.2. Наближенні значення коефіцієнтів відбиття стін та стелі

Характер поверхні відбиття	ρ , %
Побілена стеля, побілені стіни з вікнами, що закриті білими шторами	70
Побілені стіни при незавішених вікнах; побілена стеля в сирих приміщеннях; побілена бетонна і світла дерев'яна стеля	50
Бетонна стеля в забруднених приміщеннях; дерев'яна стеля; бетонні стіни з вікнами ; стіни, що оклеяні світлими обоями	30
Стіни та стеля в приміщеннях з великою кількістю пилу; суцільне скло без штор; червона незаштукатурена цегла; стіни з темними обоями	10

Таблиця Б.3. Світлотехнічні показники енергозберігаючих світлодіодних світильників

При встановленні світильника на висоту 10 м	Світильник LZ-28		Світильник LZ-40	
Потужність, що споживається, Вт	75	120	130	170
Рівень освітленості при висоті підвісу 10 м, Лк	не менше 11	не менше 15	не менше 18	не менше 21
Діаметр світлової плями при висоті підвісу 10 м, м	35		35	
Величини показників освітленості відповідають нормам освітлення вулиць, доріг та площ				

Таблиця Б.4. Технічні характеристики вуличних світильників загального освітлення

Марка	LZ-28-75	LZ-28-120	LZ-28-130	LZ-28-170
Споживана потужність, не більше Вт	75	120	130	170
Напруга живлення, В	АС 220±10 %			
Кут розкривання пром.	125°			
Світловий потік, не менше Лм	4200	6000	6800	8100
Споживаний струм, А	0,6-1,0 А			
Виконання	IP 65			
Гарантійний термін експлуатації	3 роки			
Ресурс роботи в режимі міського освітлення	30 років			
Освітленість в центральній точці з висоти 10 м, Лк	≥11	≥ 15	≥18	≥21

Таблиця Б.5. Питома потужність загального рівномірного освітлення при освітленості 100 лк. Світильники з лампами ДРЛ¹
(враховані значення $\rho_n=50\%$; $\rho_c=30\%$; $\rho_p=10\%$; $k=1,5$; $z=1,15$)

$h, \text{ м}$	$S, \text{ м}^2$	Питома потужність, Вт/м ² , для світильників типу					
		УПДРЛ	РСП05/К03; С35ДРЛ	РСП08/Г03; РСП08/Г5, 3	РСП05/Г03; С34ДРЛ	РСП07; РСП08/Л00; РСП08/Л5	РСП05/Д03; СД2РТС РСП08/Д03; РСП08/Д5, 2, СД2ПДЛ
6-8	50-65	13	7,3	8,3	6,7	16,3	11,2
	65-90	11,2	6,8	7,2	6,3	13,7	9,9
	9-135	9,4	6,2	6,5	5,9	11,3	8,8
	135-250	7,9	5,6	5,9	5,3	9,2	7,5
	250-500	6,7	5	5,2	4,9	7,2	6,4
	>500	5,4	4,5	4,6	4,3	5,7	5,3
8-12	70-100	15,8	7,9	10,6	7,4	20,8	13,7
	100-130	13,1	7,4	8,4	6,8	16,5	11,2
	130-200	11,2	6,7	7,1	6,2	13,4	9,9
	200-300	9,3	6,1	6,4	5,7	10,9	8,7
	300-600	7,8	5,5	5,8	5,3	8,8	7,4
	600-1500	6,2	4,8	5,1	4,7	6,8	6,1
	>1500	5,3	4,4	4,5	4,2	5,4	5,1
12-16	130-200						
	200-350	16	8	10,8	7,5	21,4	14
	350-600	12,4	7,1	8,1	6,5	15,3	10,7
	600-1300	9,4	6,2	6,4	5,8	11,3	8,7
	1300-4000	7,5	5,4	5,7	5,2	8,7	7,3
	4000	6	4,8	4,9	4,6	6,5	5,7
	>4000	5,2	4,3	4,4	4,1	5,2	4,9

Таблиця Б.6. Питома потужність загального рівномірного освітлення при освітленості 100 лк. Світильники з люм. ламп. (враховані значення $\rho_n=50\%$; $\rho_c=30\%$; $\rho_p=10\%$; $k=1,5$; $z=1,15$)

$h, \text{ м}$	$S, \text{ м}^2$	Питома потужність, Вт/м ² , для світильників типу							
		Група 1				Група 2			
		ЛБ-40, 65	ЛБ-80, ЛТБ-40, 65, ЛД-40	ЛБ-80, ЛДЦ-40, ЛТБ-80, ЛД-65	ЛД-80, ЛДЦ-65, 80	ЛБ-40, 65	ЛД-40, ДБ-80, ЛХБ-40, 65, ЛТБ-40, 65	ЛХБ-80, ЛТБ-80, ЛД-65, ЛДЦ-40	ЛД-80, ЛД-65, 80
2-3	10-15	9,8	11,0	12,4	14,9	8,7	9,9	11,6	13,4
	15-25	7,8	8,7	9,7	11,2	7	8,1	9,2	10,7
	25-50	5,8	6,8	7,5	8,6	5,7	6,6	7,4	8,6
	50-150	4,4	5,4	6,0	6,9	4,5	5,3	6	6,9
	150-300	4,0	4,7	5,2	6,1	4	4,7	5,3	6,1
	>300	3,6	4,1	4,7	5,4	3,4	4	4,5	5,2
3-4	10-15	13	15,2	17,6	20	14,8	15,2	16,2	18,4
	15-20	11,6	13,6	15,5	18	11,3	12,5	14,2	15,9
	20-30	9,9	11,2	13,0	15,6	8,4	9,7	11,3	13,3
	30-50	7,7	8,6	10	12,1	6,8	7,9	9	10,3
	50-120	5,5	6,4	7,4	8,4	5,5	6,4	7,3	8,4
	120-300	4,4	5,2	5,9	6,7	4,5	5,2	5,9	6,8
	>300	3,6	4,1	4,7	5,4	3,4	4	4,5	5,2
4-6	10-17	15	17,3	20,1	22	18	18,6	19,7	22
	17-25	13,6	15,8	18,2	20	15,5	16,4	17,2	19,6
	25-35	12,4	14,4	16,5	18,5	12,7	13,7	15	16,8
	35-50	10,8	12,1	14,2	15,8	9,2	10,5	12,4	14,1
	50-80	8,5	9,5	10,5	11,8	7,4	8,6	9,8	11,2
	80-150	6,0	7	7,9	9,2	6,1	7,1	8,3	9,4
	150-400	4,6	5,4	6,2	7	4,8	5,6	6,4	7,4
	>400	3,5	4,1	4,7	5,4	3,4	4	4,5	5,2

Таблиця Б.7. Питома потужність загального рівномірного освітлення при освітленості 100 лк. Світильники з люм. ламп. (враховані значення $\rho_n=50\%$; $\rho_c=30\%$; $\rho_p=10\%$; $k=1,5$; $z=1,15$)

$h, \text{ м}$	$S, \text{ м}^2$	Питома потужність, Вт/м ² , для світильників типу							
		Група 3				Група 4			
		ЛБ-40, 65	ЛБ-40, 65; ЛБ-80, ЛТБ-40, 65, ЛД-80	ЛБ-80, ЛДЦ-40, ЛТБ-80, ЛД-65	ЛД-80, ЛДЦ-65, 80	ЛБ-40, 65	ЛД-40, ДБ-80, ЛХБ-40, 5, ЛТБ-40, 65	ЛХБ-80, ЛТБ-80, ЛД-65, ЛДЦ-40	ЛД-80, ЛД-65, 80
2-3	10-15	8,8	10,3	11,6	13,3	9,6	10,9	12,5	14,6
	15-25	7,1	8,4	9,4	11	7,6	9	10	11,6
	25-50	5,7	6,7	8,7	8,9	6,1	7,2	8,1	9,4
	50-150	4,5	5,4	6,1	7	4,9	5,8	6,6	7,6
	150-300	4,1	4,8	5,5	6,3	4,4	5	5,7	6,6
	>300	3,9	4,5	5	5,7	3,9	4,5	5	5,9
3-4	10-15	12,6	14,5	16,3	19	14,2	18,4	21	24
	15-20	10,3	12	13,7	15,8	11,2	14,5	16	18,6
	20-30	8,7	10,1	11,5	13	9,5	10,8	12,5	14,5
	30-50	7,2	8,3	9,5	10,9	7,6	8,9	10	11,4
	50-120	5,5	6,5	7,4	8,6	5,9	7	7,8	9,1
	120-300	4,5	5,3	6,1	7	4,8	5,7	6,5	7,5
>300	3,9	4,5	5	5,7	3,9	4,5	5	5,9	
4-6	10-17	16,3	18,3	20	24	21	26	28	30
	17-25	13,5	15,3	17,1	19,7	15,6	20	23	27
	25-35	10,9	12,5	14,6	15,8	12	16,1	17,2	20
	35-50	9	10,9	12,3	14	10,3	11,7	13,8	16
	50-80	7,6	8,9	9,9	11,5	8,1	9,5	10,7	12,3
	80-150	6,1	7,1	8,1	9,5	6,6	7,8	8,8	10,2
	150-400	4,6	5,4	6,2	7,1	5,3	6,2	7	8,1
>400	3,9	4,5	5	5,7	3,9	4,5	5	5,9	

Таблиця Б.8. Питома потужність загального рівномірного освітлення при освітленості 100 лк. Світильники з люм. ламп. (враховані значення $\rho_n=50\%$; $\rho_c=30\%$; $\rho_p=10\%$; $k=1,5$; $z=1,15$)

$h, \text{ м}$	$S, \text{ м}^2$	Питома потужність, Вт/м ² , для груп світильників і типів ламп			
		ПВЛМ-Р	Група 5		
			ЛБР-40, 80; ЛХБР-40, 80	ЛБ-40	ЛД-40; ЛХБ-40; ЛТБ-40
2-3	10-15	12,7	12,4	14,5	17,4
	15-25	10,6	9,4	11	13,4
	25-50	8,6	7,4	8,9	10,7
	50-150	6,8	5,9	7	8,4
	150-300	6	5,2	6,1	7,4
	>300	5,2	4,5	5,3	6,4
3-4	10-15	17,2	17,7	19,8	23
	15-20	15	15,1	17,5	20
	20-30	12,4	11,9	14,2	17
	30-50	10,5	9,3	10,9	13,2
	50-120	8,4	7,1	8,6	10,2
	120-300	6,7	5,8	7	8,3
	>300	5,2	4,5	5,3	6,4
4-6	10-17	20	21	23	25
	17-25	17,9	18,5	21	24
	25-35	15,9	16	18	21
	35-50	13,4	13,3	15,4	18,1
	50-80	11,1	10,2	12	14,4
	80-150	9,3	8,2	9,8	11,7
	150-400	7,4	6,2	7,4	8,9
	>400	5,2	4,5	5,3	6,4

Таблиця Б.9. Тривало допустимий струм для проводів з алюмінієвими жилами

Спосіб прокладки	Відкрито		В сталевих трубах	
	$I_{тр.доп}$, А, при числе жил, що дорівнює			
	1	2	3	4
Переріз, мм ²				
2,5	24	20	19	19
4	32	28	28	23
6	39	36	32	30
10	60	50	47	39
16	75	60	60	55

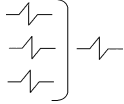

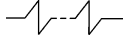
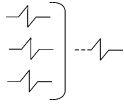
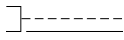
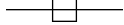
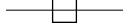
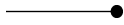

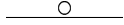

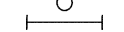








Таблиця Б.10. Найменші допустимі перерізи проводів за умовами механічної міцності

Характеристика проводів	Переріз в мм ²	
	Мідні	Алюмінієві
Багатожильні шнури, провoda і кабелі для приєднання промислових установок типа ШРПЛ, ШРПС, ШВРШ, ШВПЛ	1,0	–
Ізольовані провoda для групових ліній і для прокладки в трубах	1,0	2,5
Ізольовані провoda і шнури для безпосередньої прокладки на ізолюючих опорах, що розміщені одна від одної на відстані:		
- до 1 м	1,0	4
- від 1 м до 2 м	1,25	4
- від 2 до 6 м	2,5	6
- до 12 м	4	10
- більше 12 м	6	16

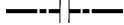


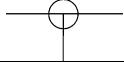

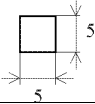




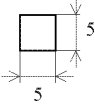

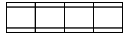

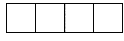
Таблиця Б.11. Умовні позначення, скорочення і надписи на планах електроосвітлення

Найменування	Зображення	Розмір, мм
1	2	3
Лінії проводок та струмопроводів		
Лінія проводки (загальне зображення) Припускається: - вказувати над зображенням лінії дані проводки (рід струму, напруги, матеріал, спосіб прокладки, відмітка проводки і т.і.); - кількість провідників	—————	Товщина 1,0
Приклади - коло постійного струму напругою 110 В - лінія, що складається з трьох провідників	<u>110 кВ, в штробі</u> — — —	Те ж
Лінія кіл керування	-----	
Лінія мережі аварійного, евакуаційного і охоронного освітлення	-----	
Лінія напругою 35 кВ і нижче	● — ● — ● — ●	
Лінія заземлення і занулення	- - - - -	
Заземлювачі	○ — ○	
Металічні конструкції, які використовуються в якості магістралей заземлення, занулення	✕ — ✕	
Прокладка проводів і кабелів		
Відкрита прокладка одного провідника	~	Товщина 1,0











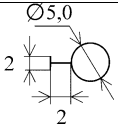

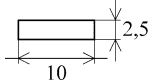
Продовження табл. Б.11

1	2	3
Відкрита прокладка декількох провідників		
Відкрита прокладка одного провідника під перекриттям		
Відкрита прокладка декількох провідників під перекриттям		
Прокладка на тросі та його кінцеве кріплення		
Прокладка у лотку		
Проводка у коробці		
Кінець проводки кабелю		Діаметр 2,5 
Проводка в трубах (загальне зображення)		
Проводка в патрубку через стіну		
Те ж саме через перекриття		
Прокладка шин та шинопроводів		Товщина 2,0
Шина, прокладена на ізоляторах		Діаметр 5,0
Шини або шинопровід на стійках		Діаметр 4,0
Те ж на підвісках		
Те ж на кронштейнах		
Тролейна лінія		

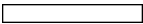
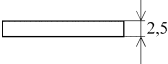
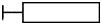
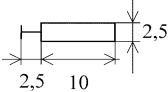

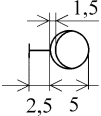


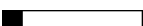
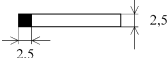




Продовження табл. Б.11

1	2	3
Секціонування тролейної лінії		
Компенсатор шинний		
Коробки, щитки, ящики з апаратурою, шафи, щитки, пульти		
Коробка освітлювальна		Діаметр 5,0
Коробка ввідна		
Щиток магістральний робочого освітлення		
Щиток груповий робочого освітлення		
Щиток груповий аварійного освітлення		
Ящик з апаратурою		
Шафа, панель, пульт, щиток одностороннього обслуговування, пост місцевого управління		
Шафа, панель двостороннього обслуговування		
Шафа, щит, пульт з декількох панелей одностороннього обслуговування. Приклад: щит з чотирьох шаф		
Шафа, щит, пульт з декількох панелей двостороннього обслуговування. Приклад: щит з п'яти шаф		
Щит відкритий. Приклад: щит з чотирьох панелей управління		





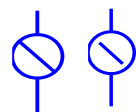
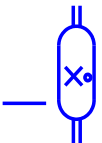

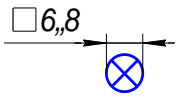
Продовження табл. Б.11

1	2	3
Освітлювачі та прожектори при від'ємному зображенні на плані устаткування та електричних мереж		
Освітлювач з лампою розжарювання. Загальне позначення		
Освітлювач з люмінесцентною лампою (Загальне позначення)		
Освітлювач з розрядною лампою високого тиску		
Прожектор, наприклад, з лампою розжарювання (загальне зображення)		
Освітлювач з лампою розжарювання для аварійного освітлення		
Освітлювач для аварійного освітлення		
Освітлювач з лампою розжарювання для спеціального освітлення, наприклад для запасного виходу		
Освітлювачі та прожектори при об'єднаному зображенні на плані устаткування та електричних мереж		
Освітлювач з лампою розжарювання. Загальне позначення		Діаметр 5,0
Освітлювач з лампою розжарювання на тросі		Те ж
Те ж на кронштейні, на стіні споруди, будови для зовнішнього освітлення		
Освітлювач з люмінесцентними лампами, встановлений по лінії. Примітка. Допускається освітлювач з люмінесц. лампами зображувати в масштабі креслення		

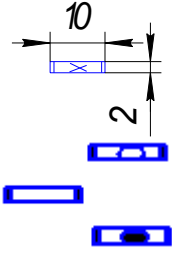

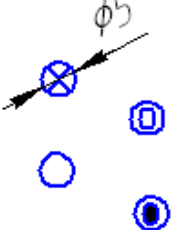

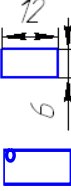



Продовження табл. Б.11

1	2	3
Освітлювач з люмінесцентними лампами, встановленими в лінію		
Освітлювач з люмінесцентною лампою на кронштейні для зовнішнього освітлення		
Освітлювач з розрядною лампою високого тиску на кронштейні для зовнішнього освітлення		
Освітлювач з розрядною лампою високого тиску на опорі для зовнішнього освітлення		Те ж
Люстра		Те ж
Освітлювач-світовод селевий		
Прожектор		
Група прожекторів з направленням оптичної вісі в одну сторону		
Група прожекторів з направленням оптичної вісі в різні сторони		Діаметр 6,0
Випромінювання: видиме ультрафіолетове інфрачервоне	X X ^{UV} X ^{IR}	
Випромінювання імпульсне		

Продовження табл. Б.11

1	2	3
Газове наповнення: неон ксенон натрій ртуть йод	Ne Xe Na Hg I	
Балон: с внутрішнім шаром, що відбиває с зовнішнім шаром, що відбиває	 або 	
Дуговий електрод	 або 	
Приклади побудови джерел світла		
Лампа розжарювання освітлювальна і сигнальна <i>Примітка.</i> Якщо необхідно вказувати колір лампи, припустимо використовувати наступні позначення: С2-червоний, С4-жовтий, С5-зелений, С6-синій, С9-білий		
Лампа газорозрядна низького тиску безелектродна		
Лампа дугова, електроди співоєні		
Розміри умовного графічного позначення лампи розжарювання		

Продовження табл. Б.11

1	2	3
Світильники з люмінесцентними лампами: - підвісні - настінні - стельові - вбудовані		
Лінія з люмінесцентних світильників		
Світильники з лампами розжарювання: - підвісні - настінні - стельові - вбудовані.		
Нормована освітленість, лк/м ²		
Приймачі електричної енергії: - апарат - машина		
Шкаф силовий розподільчий		
Магнітний пускач		
Автоматичний вимикач		
Рубильник	