

## РОЗДІЛ 3

### Основні напрямки зниження енерговитрат у системах освітлення

#### 3.1 Енергозбережні технології в системах освітлення

##### 3.1.1 Загальні відомості

Понад 95 % інформації про довкілля людина одержує за допомогою органу зору, ефективна робота якого можлива лише в умовах світлового поля необхідної інтенсивності та якості.

Створення необхідного світлового клімату для ефективного сприйняття зорової інформації – це основне завдання освітлення, зокрема штучного електричного освітлення.

На освітлення витрачається значна частка вироблюваної електроенергії. В останньому десятилітті двадцятого століття освітлювальні установки споживали таку частку виробленої електроенергії: ФРН – 9 %, Франція – 11 %, Великобританія – 12 %, Італія – 13 %, Україна – 13 %. Японія – 18 %, США – 20 %. Тому освітлювальні електроприймачі є важливим об'єктом і полем діяльності для заощадження енергетичних ресурсів.

Багато з існуючих освітлювальних установок дуже далекі від вимог енергоощадності й економічності. Існує багато можливостей модернізації таких установок застосуванням ефективного устаткування для забезпечення такого самого чи навіть кращого освітлення за одночасного зменшення споживання електроенергії й видатків на її оплату.

За останні роки значні успіхи були досягнуті в розробленні систем регулювання освітлення. Нерідко забувають про найпростіший і доступний чинник

покращання освітлення – це обслуговування, особливо очищення ламп і світильників. Нижче ці аспекти буде розглянуто детальніше, включаючи відповідні економічні питання.

### 3.1.2 Деякі поняття світлотехніки і світлові величини

Оптичну область електромагнітних хвиль становлять хвилі з довжиною в діапазоні від 10 нанометрів ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ) до 1 000 мікрометрів ( $1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$ ). Нижню частину частотного діапазону області займають інфрачервоні промені (довжина хвиль 760–1 000 мкм), верхню – ультрафіолетові промені (довжина хвиль 10–380 нм). Оптичні випромінювання в межах довжин хвиль від 380 нм до 760 нм спричиняють в органах зору людини відчуття світла – це видимі промені. До кількісних показників освітлення належать світловий потік, сила світла, освітленість, світність і яскравість.

До якісних показників освітлення віднесені: показник засліплюваності; показник дискомфорт; спектральний склад випромінювання, рівномірність освітлення поверхні чи простору, насиченість простору світлом та інші.

Одним з основних понять у системі світлових величин є світловий потік, який оцінюється за його дією на селективний приймач світла – око. Іншими словами, світловий потік – це потужність світлового випромінювання, оцінювана за реакцією очей. Одиницею світлового потоку є люмен (лм). Люмен – це світловий потік, який у просторовому куті 1 стерадіан створює точкове джерело із силою світла 1 кандела. Сила світла – це кутова просторова густина світлового потоку (потужності світловою випромінювання). Для випадку рівномірного просторового розподілу світлового потоку

$$I = \frac{\Phi}{\Omega},$$

де  $\Omega$  – просторовий кут із вершиною в точці розміщення джерела світла.

У загальному випадку

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}.$$

Одиницею сили світла  $I$  є кандела (кд).

Кандела – це сила світла, що випромінюється в перпендикулярному напрямі з поверхні абсолютно чорного тіла площею  $\frac{1}{6} \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ , яке має температуру твердіння платини ( $T = 1\,045 \text{ }^\circ\text{C}$ ) за тиску  $101\,325 \text{ Па}$ . (Слово кандела походить від латинського *kandela* – свічка).

Наступною світловою величиною є освітленість  $E$ .

Освітленість – це відношення світлового потоку, що падає на поверхню, до площі цієї поверхні. Іншими словами, освітленість – це густина світлового потоку на освітлювальній поверхні:

$$E = \frac{\Phi}{S}.$$

Одиницею освітленості є люкс (лк). Люкс – це освітленість поверхні площею  $1 \text{ м}^2$ , на яку падає рівномірно розподілений світловий потік випромінювання  $1$  люмен ( $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм}/1 \text{ м}^2$ ). (Слово люкс походить від латинського *lux* – світло сонця).

Світність  $M$  – це густина випромінюваного поверхнею світлового потоку. Одиницею світимості є «люмен із квадратного метра» ( $\text{лм}/\text{м}^2$ ).

Яскравість  $L$  – це густина сили світла стосовно площі проекції в заданому напрямі тіла, що випромінює (відбиває) світло. Одиницею яскравості є «кандела з квадратного метра» ( $\text{кд}/\text{м}^2$ ).

Експозиція  $Q$  – це світлова величина, що визначається як добуток світлового потоку на тривалість його дії. Одиницею експозиції є «люмен-секунда» (лм · с).

### 3.1.3 Світлові та освітлювальні пристрої

Світловими називають пристрої, що містять у своєму складі джерело світла і світлову арматуру, яка складається з оптичної системи і допоміжної апаратури. Світлові пристрої поділяють на:

- освітлювальні, зокрема, ближньої дії – світильники, і дальньої дії – прожектори;
- світлоінформаційного призначення – проектори;
- світлосигналізаційні;
- опромінювальні.

Освітлювальні пристрої призначені для освітлення робочих поверхонь, приміщень і територій. Основною функцією світлової арматури є перерозподіл світлового потоку джерела світла в потрібних напрямках оточуючого її простору.

Додатковими функціями апаратури є:

- забезпечення комутації (ввімкнення-вимкнення) та стабілізації режиму джерел світла;
- захист джерела світла від механічних пошкоджень:
  - ізоляція джерела світла від вибухонебезпечних, пожежонебезпечних, вологих, хімічно агресивних і заповнених середовищ;
  - зміна за необхідності спектрального складу випромінювання джерела світла:
  - зменшення яскравості для захисту в разі необхідності від засліплювальної дії джерела світла;
  - кріплення пристрою в місці експлуатації;

– виконання специфічних функцій, наприклад, для підводного чи космічного освітлення, технологічного опромінювання.

Основними показниками освітлювальних пристроїв є гранична потужність джерела світла, напруга мережі живлення, габаритні розміри, крива світлорозподілу.

Освітлювальні пристрої повинні задовольняти відповідні технічні стандарти. Їх можна класифікувати за ступенем захисту від проникнення порошку і вологи, за характером світлорозподілу, за середовищем використання.

*Світловий к. к. д. освітлювального пристрою.* Конструкція освітлювального пристрою тією чи іншою мірою поглинає частину світлового потоку джерела світла (лампи).

Відношення світлового потоку, що виходить з освітлювального пристрою ( $\Phi_{O.P.}$ ) до світлового потоку лампи освітлювального пристрою ( $\Phi_L$ ) називають світловим к. к. д. освітлювального пристрою:

$$\eta = \frac{\Phi_{O.P.}}{\Phi_L}.$$

Світловий к. к. д. більшості вітчизняних освітлювальних пристроїв знаходяться в межах 60–75 %. У країнах європейської спільноти, а також в Україні, використовують поняття коефіцієнта корисної дії світильника (як джерела світла), який є відношенням світловіддачі освітлювального пристрою до світлової віддачі лампи (ламп)  $H_L$ .

$$\eta_c = \frac{H_{O.P.}}{H_L}.$$

### 3.1.4 Енергоощадні рішення на стадії проєктування освітлювальних систем

Правильно розрахована освітлювальна установка повинна насамперед забезпечувати нормативи освітлення на конкретному об'єкті.

Енергоощадні освітлювальні системи повинні використовувати зазвичай найефективніші джерела світла й освітлювальні пристрої з раціональним їх розміщенням та врахуванням умов експлуатації.

У проєкті повинно бути передбачене ручне чи автоматичне керування освітлювальною системою відповідно до режиму роботи об'єкта.

Під час проєктування можуть виникати специфічні питання, пов'язані з керуванням випромінювання джерела світла чи із застосуванням особливих видів освітлювальних пристроїв.

*Принципи нормування освітлення.* Норми промислового освітлення базуються на класифікації робіт, основною ознакою яких є найменший розмір розрізнявальних деталей.

Роботи виносяться до I розряду, якщо розмір деталей менший 0,15 мм (відстань до ока 0,5 м). У разі більших розмірів – відповідно до розрядів II–VI (для останнього розмір розрізнявальних деталей перевищує 5 мм). До VII розряду віднесені роботи, де освітленість необхідна для зменшення контрасту між деталями, що світяться, та фоном. Розряд VIII стосується робіт, де необхідне лише загальне спостереження за виробничим процесом.

До показників якості освітлення, які враховуються під час проєктування, належать показник засліплюваності – для виробничих приміщень, відкритих майданчиків та показник дискомфорту для громадсько-адміністративних будівель.

Показник засліплюваності не повинен перевищувати 20 одиниць для I і II розрядів робіт у разі постійного перебування людей у приміщенні, 40 одиниць – для робіт III, IV, V, VII розрядів за умови постійного перебування людей та 60 одиниць за умови періодичного перебування людей, 60 одиниць – для VI і VIII розрядів робіт за умови постійного перебування людей і 80 одиниць за умови періодичного перебування людей.

Що стосується показника дискомфорту, то для більшості приміщень громадських будівель він не повинен перевищувати значення 40–60 одиниць.

Коефіцієнт пульсації для освітлення приміщень газорозрядними лампами, що живляться змінним струмом із частотою 50 Гц, не повинен перевищувати 10 % для робіт I і II розрядів, 15 % – для робіт III розряду, 20 % – для робіт IV–VII розрядів. Допускається підвищення коефіцієнта пульсації до 30 % в приміщеннях із VI і VIII розрядами за відсутності в них умов виникнення стробоскопічного ефекту.

Нижче для інформації наведені значення коефіцієнтів пульсації деяких типів ламп залежно від способу увімкнення.

**Таблиця 3.1 – Значення коефіцієнтів пульсації світлового потоку**

Джерело світла	Спосіб увімкнення		
	1-ша фаза	2-га фаза	3-тя фаза
Люмінесцентні лампи типу ЛБ	24	10	3
Люмінесцентні лампи типу ЛДЦ	41	17	5
Дугові ртутні лампи високого тиску	65	31	7

Вимоги рівномірності освітлення регламентуються граничним співвідношенням максимальної освітленості до її середнього значення.

**Нормовані рівні освітленості.** Нормовані значення освітленості наводяться для робочої поверхні (горизонтальної, вертикальної чи похилої площини), на якій розміщуються візуальні об'єкти вирішуваного зорового завдання. За відсутності конкретної інформації за робочу поверхню можна розглядати горизонтальну площину, що знаходиться на рівні 0,8 м від підлоги (умовна робоча поверхня).

Зазвичай норми освітленості визначають найменшу допустиму освітленість. За час нормальної експлуатації освітлювальної установки в точках робочої поверхні освітленість не повинна бути меншою за встановлені норми найменших значень.

Нижче в таблицях наведені нормовані рівні освітленості для України та рекомендовані рівні освітленості для країн Європейської спільноти.

**Таблиця 3.2 – Нормовані в Україні рівні освітленості та вимоги до якості освітлення**

Приміщення	Освітленість, лк	Показник дискомфорту, не більше одиниць	Коефіцієнт пульсації світлового потоку, %, не більше
Робочі кімнати, проєктні кабінети	300	40	15
Машинописні і комп'ютеризовані бюро	400	40	10
Читальні зали	300	40	15
Конференц-зали, зали засідань	200	60	15



**Продовження таблиці 3.2**

Лабораторії	300	40	10
Фойє	150	90	–
Вестибюлі	150	–	–

**Таблиця 3.3 – Рекомендовані рівні освітленості та показники якості освітлення країн Європейської спільноти (ЄС)**

Приміщення	Освітленість, лк	Граничний показник засліплюваності
Офіси:		
– загальний офіс	500	19
– зал моніторів	300–500	19
Конструкторські бюро:		
– загальні приміщення	500	16
– креслярські дошки	750	16
Банки та будівельні компанії:		
– офісні приміщення, бухгалтерії	500	19
– приміщення для відвідувачів	300	19

**Критерії вибору джерела світла.** Під час вибору джерела світла враховують їх відповідність наведеним нижче критеріям.

**Передавання кольорів.** Відчуття відповідності кольорів поверхонь у разі освітлення їх заданим джерелом світла формується в людини свідомими чи мимовільним порівнянням зі сприйняттям кольорів у разі освітлення деяким еталонним джерелом. Під «добрим поданням кольорів» розуміють близькість зі сприйняттям, яке має місце в разі стандартного джерела світла, наприклад, денного світла.

*Температура кольору.* Температура кольору – це температура абсолютно чорного тіла (повного випромінювача), яке дає випромінювання того самого спектрального складу, що й заданий конкретний випромінювач.

*Наявні номінали потужностей.* Деякі типи ламп, наприклад, металогалоїдні та натрієві високого тиску, мають дуже високе значення світлового потоку. Це дозволяє використати меншу кількість ламп (і освітлювальної арматури) для досягнення заданого рівня освітленості і відповідно дозволяє зменшити видатки на створення освітлювальної установки. Однак лампи з великим світловим потоком зазвичай вимагають установлення їх на значній висоті, щоб обмежити засліплювальність і забезпечити рівномірність освітленості.

*Фізичні розміри і конфігурація.* У деяких випадках необхідні малогабаритні лампи, наприклад, для підсвічування дисплея, чи лампи особливої конфігурації з певною конструкцією цоколя.

*Робочі характеристики.* Деякі з цих характеристик, які потрібно враховувати під час вибору джерел світла, наведені нижче:

- час розгорання та інтервал часу до повторного ввімкнення;
- мерехтіння в процесі запалювання;
- пульсації світлового потоку під час нормальної роботи;
- зменшення світлового потоку та зміна інших характеристик із часом експлуатації;
- температура колби лампи і температура довкілля в конкретних умовах експлуатації;
- сумісність із наявними патронами.

*Вибір ефективних джерел світла.* Здоровий глузд підказує, що необхідно використовувати той тип ламп, який

за умови забезпечення інших вимог дає максимальну світловіддачу.

Нагадаємо, що світловіддача ( $H$ ) – це відношення світлового потоку джерела світла до його потужності ( $H_{Л} = \Phi_{Л} / P_{Л}$ ). Світлова віддача кожного типу ламп може бути визначена на основі доступних даних про лампу та схему її увімкнення. Потрібно враховувати, що для розрядних ламп, де мають місце втрати енергії в пускорегулювальній апаратурі, об'єктивнішим показником є світловіддача схеми. Вона визначається як відношення світлового потоку до суми потужностей, що споживаються власне лампою та втрат потужності в пускорегулювальній апаратурі:

$$H_{СК} = \frac{\Phi_{Л}}{P_{Л} + \Delta P_{ПРА}}$$

Під час проєктування нової освітлювальної установки необхідно порівнювати світлові віддачі ламп і вибирати з них ті, що мають найбільшу світловіддачу.

Під час вибору освітлювальних установок потрібно з'ясувати тип використовуваних ламп. Якщо цей тип має низьку світловіддачу, можна замінити їх на ефективніші лампи. В окремих випадках це не вимагатиме ніяких додаткових змін, в інших – можуть знадобитися деякі зміни в освітлювальній установці.

**Енергоощадні типи ламп.** У таблиці 3.4 наведені основні характеристики поширених типів ламп та рекомендовані випадки їх застосування. Поряд із типом ламп (перша колонка) наведемо їх позначення латинським шрифтом, прийняті в країнах Європейської спільноти (ЄС).

**Таблиця 3.4 – Основні характеристики поширених типів ламп та рекомендовані випадки їх застосування**

Тип лампи	Світловідача, лм/Вт	Передавання кольорів, Ra	Температура кольору, К	Термін служби, години	Типові застосування
1	2	3	4	5	6
Розжарювання звичайна (GLS)	14	99	2 856	1 000	У побуті
Розжарювання рефлекторна (PAR)	10	99	2 856	1 500	Підсвічування дисплея
Розжарювання галогенна з вольфрамовою ниткою (LV)	18	99	–	2 000	Підсвічування дисплея, прожекторне освітлення
Розжарювання галогенна з вольфрамовою ниткою (V)	22	99	–	2 000	Підсвічування дисплея – вузький промінь
Компактна люмінесцентна (с. f. e.)	60	87	2 700	12 000	У побуті (заміна ламп типу GLS)
Люмінесцентна трубчаста	75	60–85	2 700–7 500	10 000	Офіси, магазини, підприємства
Люмінесцентна трубчаста (ВЧ керування)	100	65–90	–	14 000	Офіси, магазини, підприємства (можна зменшувати освітленість)
Ртутні високого тиску, ДРЛ (MBF)	40	–	–	6 500	Підприємства

**Продовження таблиці 3.4**

1	2	3	4	5	6
Метало-галогідні ДРИ (МН/МВІ)	73–96	65–92	Різна	8 000	Магазини, підприємства, прожекторне освітлення спортивних арен
Натрієві високого тиску (SON)	50–140	23–80	Тепла	10 000	Підприємства, прожекторне освітлення
Натрієві низького тиску (SOX/SLI)	100–175	Незадовільна (спотворена)	–	10 000	Загальні площі, автотраси, тунелі, автостоянки, охоронне освітлення

**Ефективність використання освітлювальних установок.** Комплексна ефективність освітлювальних установок, що використовуються для загального рівномірного освітлення в приміщеннях, може бути оцінена коефіцієнтом використання освітлювальної установки  $K_{O.V}$ :

$$K_{O.V} = \frac{\Phi_{P.П}}{\Phi_{C.B}}$$

де  $\Phi_{P.П}$  – світловий потік на робочій поверхні;

$\Phi_{C.B}$  – світловий потік, що випромінюється світильником.

Під час проектування освітлювальної установки, крім коефіцієнта використання, необхідно враховувати також й інші чинники, – зокрема виникнення відблисків (тобто полисків окремих ділянок робочої зони).

Коефіцієнт використання освітлювальної установки для окремих типів світильників розраховують за

спеціальними таблицями, в яких, крім прийнятого типу світильника, враховують відбивальну здатність поверхонь приміщення і показник приміщення  $R$ , який визначають за формулою

$$R = \frac{A \cdot B}{(A + B) \cdot H},$$

де  $A, B, H$  – відповідно довжина, ширина і висота приміщення.

Необхідно підкреслити, що в широкому розумінні освітлювальна установка має світлову частину (освітлювальний пристрій, приміщення, робочі поверхні) і електричну частину (електропроводка, комутаційна апаратура тощо).

Для підвищення коефіцієнта використання освітлювальної установки необхідно фарбувати поверхні приміщень у світлі тони і застосовувати високоефективні відбивачі (рефлектори).

У високоефективних відбивачах використовують покриття сріблом поверхню, яка має дуже високу здатність відбиття, що забезпечує максимальне відбиття світлового потоку лампи. Високоефективні відбивачі забезпечують підвищення коефіцієнта ефективності світильника за рахунок того, що з їх застосуванням більша частина світлового потоку, який випромінює лампа, досягає робочої поверхні. Цим можна значно підвищити ефективність роботи старих освітлювальних установок, дозволяючи скоротити майже вдвічі кількість ламп, які використовувалися раніше, за умови збереження чи навіть збільшення рівня освітленості.

Відбивачі можуть бути виконані на спеціальне замовлення для задоволення потреб конкретних приміщень, і можуть забезпечити підвищені рівні освітлення без збільшення витрат на електроенергію.

У тих випадках, коли наявна освітлювальна арматура застаріла, можливо, економічним буде варіант її заміни, що вимагає спеціального оцінювання в кожному окремому випадку.

**Особливі випадки освітлення.** Якщо робочі площі не займають значної частини освітлювальної площі, можна застосувати локальне освітлення, яке вимагає менших витрат енергії порівняно із загальним освітленням. У цьому разі необхідне ретельне узгодження розміщення місць виконання окремих робіт. Зміна розміщення робочих місць може стати проблемою, якщо система локального цільового освітлення є недостатньо гнучкою. Важливо також забезпечити освітленість інших площ на рівні, не меншому за третину від освітленості цільових площ, де виконуються конкретні робочі завдання.

Світильники відбитого і переважно відбитого світла характерні тим, що скеровують більшу частину світлового потоку на стелю і верхні частини бокових стін для освітлення робочої поверхні відбитим світлом. Ефективність такої системи, порівняно зі світильниками, що скеровують світло вниз, є меншою (ступінь цього зменшення залежить від коефіцієнта відбиття поверхні стелі, стін), однак світильники зі скеруванням світла вверх можуть забезпечувати високу гнучкість освітлювальної системи і створювати зоровий комфорт.

Освітлення поверхонь, на яких установлені дисплеї, вимагає великої уваги, щоб уникнути появи блисків і неприємних відбиттів. У таких випадках застосовують спеціальні рефлекторні системи для верхнього люмінесцентного освітлення. Тут можуть виявитися ефективними також системи відбитого чи переважно відбитого світла.

**Урахування умов експлуатації освітлювальних систем.** Під час проектування освітлювальних систем

необхідно враховувати такі три основні фактори, пов'язані з експлуатацією систем:

- фактор зміни характеристик ламп (зменшення світловіддачі внаслідок старіння);
- фактор технічного обслуговування світильників, (ступінь забруднення світильника і періодичність очищення);
- фактор технічного обслуговування освітлюваних поверхонь приміщення (ступінь втрати відбитого світлового потоку, обумовлений забрудненням стін).

Дію цих трьох факторів ураховують на стадії проектування за допомогою коефіцієнта запасу ( $K_3$ ), який являє собою відношення передбачуваного світлового потоку ( $\Phi_{\Pi}$ ) до реального ( $\Phi_P$ ):

$$K_3 = \frac{\Phi_{\Pi}}{\Phi_P}.$$

Отже, якщо проектувальник освітлювальної системи прогнозує зниження освітленості за рахунок старіння системи впродовж певного часу на 25 %, він повинен урахувати, що необхідний рівень освітленості повинен бути забезпечений і в кінці згаданого проміжку часу, використовуючи під час розрахунків коефіцієнт запасу  $K_3 = 1,25$ . На час уведення в дію після монтажу освітлювальної установки рівень освітленості становитиме 125 % від необхідного. Про що це свідчить для енергоменеджера? Це означає, що оскільки передбачається слабке технічне обслуговування, капітальні і експлуатаційні видатки на освітлення будуть на 25 % більшими, ніж вони повинні бути. Якщо планується технічне обслуговування з періодичним очищенням ламп і їх своєчасною заміною, значна частина цих додаткових



видатків може бути заощаджена, оскільки проєктувальник зможе використати менше значення коефіцієнта запасу.

**Раціональне розміщення світильників.** Існують два способи розміщення світильників загального освітлення: нерівномірне й рівномірне. У локалізованій системі загального освітлення вибір місця розміщення світильників вирішуються в кожному конкретному випадку індивідуально.

Рівномірне розміщення світильників призначене для створення рівномірно розподіленої освітленості на всій площі освітлювального приміщення. Це забезпечується вибором відстані між світильниками залежно від форми кривої сили світла світильника.

Люмінесцентні світильники зазвичай розміщують рядами паралельно до стін із вікнами, а в проїмах виробничих приміщень – паралельно до поздовжньої осі приміщення. Залежно від необхідного рівня освітленості лампи можуть утворювати неперервні ряди чи ряди з розривом.

У разі використання світильників відбитого світла необхідно додержуватися певних відстаней від світильника до стелі, що забезпечують рівномірність розподілу яскравості на стелі.

Необхідно також регламентувати відстань від крайнього ряду світильників до стін, що залежить від наявності робочих поверхонь біля стін приміщення.

Під час розміщення світильників загального освітлення враховують також зручність їх монтажу і обслуговування.

**Раціональні схеми приєднання світильників до джерела живлення.** У випадках досить глибоких внутрішніх частин приміщень із двома чи більше рядами світильників, розміщених паралельно до стіни з вікнами,

доцільно передбачити незалежне ввімкнення (вимкнення) кожного ряду залежно від рівня природного освітлення.

Групи світильників потрібно рівномірно розподіляти за фазами джерела живлення, що забезпечує мінімальні втрати і створює умови зниження пульсацій світлового потоку в разі використання газорозрядних ламп.

У нічний час у зв'язку зі зменшенням електричного навантаження напруга підвищується на 15–20 % порівняно з номінальною, що зумовлює додаткове споживання енергії і різко скорочує термін служби ламп. У цьому разі можна змінити схему з'єднання світильників із паралельної, якщо лампи паралельно ввімкнені на фазну напругу джерела, на послідовну схему з'єднання ламп, коли дві послідовно з'єднані лампи ввімкнені на лінійну напругу. Це рішення застосовують у міських освітлюваних мережах. У цьому разі на кожний світильник припадає напруга:

$$(1,15 - 1,20)U_K / 2 = (1,15 + 1,20)\sqrt{3}U_\phi / 2 - (0,99 - 1,04)U_\phi.$$

Ця рекомендація має обмежений характер, оскільки рівномірний розподіл лінійної напруги між послідовно з'єднаними світильниками має місце лише за їх однакової потужності.

**Засоби керування освітленням.** Своєчасне ввімкнення і вимкнення освітлення може значно зекономити електричну енергію.

Система часового керування, що вимикає всі вибрані заздалегідь світильники в певний час, але дає можливість локального індивідуального ввімкнення, може мати час окупності півтора-два роки. Якщо така система запроваджується під час реконструкції системи освітлення, час окупності може зменшитися до одного року, а інколи й менше. Цей загальний принцип керування освітленням добре підходить для приміщень із великою кількістю працівників, наприклад, для спільного офісного приміщення, однак його потрібно обережно застосовувати

в школах, на підприємствах, у складських приміщеннях тощо.

Існують також системи керування освітленням, які, крім згаданого принципу, можуть реалізувати також варіант фотоелектричного керування залежно від рівня природного освітлення. Це дає більші заощадження. Тут також передбачена можливість індивідуального локального керування освітленням присутньою в приміщенні особою. Для реалізації локального керування можливе використання дистанційного вмикання чи вимкнення, наприклад, за допомогою інфрачервоних чи ультразвукових пристроїв.

Використання ламп, що працюють на високій (близько 30 кГц) частоті, сприяє впровадженню відносно дешевого регулювання світлового потоку люмінесцентних ламп. Це, ймовірно, повинно привести до розроблення систем гнучкого керування світловим кліматом інтер'єрів приміщень, наприклад, плавним регулюванням штучного освітлення залежно від рівня природного, чи розробленням конструкцій зі стабільним світловим потоком, де зниження світловіддачі внаслідок старіння ламп компенсувалося би збільшенням їх потужності.

***Ручне керування освітленням.*** Метою ручного керування освітленням є забезпечення потрібної інтенсивності освітлення в потрібному місці впродовж потрібного інтервалу часу.

Навіть у разі використання ефективніших енергоощадних ламп, світильників тощо енергія, що споживається системою освітлення, може витратитися даремно внаслідок різних факторів. Ретельний моніторинг показав, що зазвичай люди вмикають світло, якщо це необхідно, але вони не такі пунктуальні, щоб вчасно вимикати освітлення, якщо денне природне освітлення створює достатній світловий комфорт чи якщо виходять із

приміщення. Умовляння можуть виявитися корисними на короткий час, але ідеальне вирішення полягає в тому, щоб передбачити ручний вимикач для ввімкнення і автоматичний вимикач для вимкнення освітлення, якщо в ньому немає потреби.

Інша ситуація даремного витрачання енергії на освітлення виникає внаслідок поширеної практики керувати освітленням великих площ невеликою кількістю вимикачів чи внаслідок невдалого компонування вимикачів, що спричинює плутанину, якщо задоволення індивідуальних вимог до освітлення може бути досягнене ввімкненням багатьох світильників.

Пристрої плавного регулювання, освітленості є дуже ефективним засобом скорочення видатків на освітлення, одна перш ніж зважитися на значні капіталовкладення, рекомендується вивчити характер зайнятості приміщень і поведінку осіб, які перебувають у цих приміщеннях. Це дозволить вибрати найекономічнішу систему керування освітленням.

Система вимикачів повинна принаймні дозволяти окремо керувати рядами світильників, розміщених паралельно до стін із вікнами.

Існують вимикачі (механічні й електронні), які дозволяють керувати індивідуальними світильниками у великій освітлювальній установці тим особам, які мають найбільшу в цьому потребу.

Вимикачі необхідно розміщувати якомога ближче до світильників, роботою яких вони керують. Один із простих методів, який успішно застосовувався і застосовується, передбачає встановлення настінного шнурувого вимикача біля кожного світильника.

*Автоматичне керування освітленням.*  
Найпоширенішими автоматичними регуляторами освітлення є фотоелектричні регулятори, що забезпечують

вимкнення електричного освітлення тоді, коли природного освітлення достатньо для створення потрібної освітленості. Фотоелектричний датчик може реагувати на зовнішню освітленість, а може бути налаштованим так, щоб спрацьовувати, якщо зовнішня освітленість забезпечує необхідний рівень освітленості на робочому місці.

Безконтактні вимикачі – це локальні регулятори, які реагують на присутність людей у приміщенні. Виявлення людей може ґрунтуватися на використанні інфрачервоних чи ультрафіолетових датчиків, які спричиняють увімкнення освітлення в разі появи людей у приміщенні і вимкнення освітлення, якщо люди залишають приміщення. Робота безконтактного вимикача може бути скоординована з фотоелектричними регуляторами.

Альтернативним вирішенням може бути система, яка вмикає освітлення в разі необхідності, а регулятор (контролер) лише вимикає освітлення, якщо присутність людей у приміщенні не фіксується.

Якщо люди залишають певні приміщення у фіксований час кожного робочого дня, то може бути доцільним установити вимикач із часовим механізмом (часовий регулятор), який би вмикав більшу частину освітлення після настання такого часу. Однак необхідно інколи передбачити охоронне освітлення і можливість для осіб, які працюють у пізній час, вмикати частину освітлення вручну з подальшим автоматичним вимкненням із тим, щоб уникнути випадкового залишення увімкненого освітлення. Звичайне прибирання приміщень також може вимагати спеціальних заходів. Послідовне керування освітленням може бути доречним, якщо бригада прибиральниць переходить із поверху на поверх.

Організація освітлення повинна гарантувати, що жодній особі за будь-яких обставин не доведеться входити

до неосвітленого приміщення (простору) чи перебувати в приміщенні (просторі), де за освітленням немає контролю.

Найпростішим видом часових регуляторів є вимикачі, які вмикають вручну, а вимикають автоматично через заданий час. Вони значно поширені для керування освітленням сходових кліток багатопверхових будинків. Ці вимикачі відносно недорогі і їх можна просто встановити замість звичайного вимикача.

***Регулювання світильників із високочастотними люмінесцентними лампами.*** Останнім часом визначилася виразна тенденція використання люмінесцентних ламп, що працюють на високій (близько 30 кГц) частоті. Це створює можливості підвищення ефективності, відносно простого регулювання світлового потоку, а також зоровий комфорт унаслідок відсутності пульсацій світлового потоку. Високочастотні баластні елементи (дроселі) легко об'єднуються з електронними регуляторами, наприклад, для регулювання рівня освітленості залежно від рівня природної освітленості.

### **3.1.5 Економія електроенергії під час експлуатації освітлювальних систем**

Для визначення шляхів економії електроенергії в освітлювальних системах необхідно знати частку окремих складових загальних видатків на електричне освітлення.

Зменшення експлуатаційних видатків на освітлювальну систему може бути досягнене за рахунок раціонального обслуговування та заміною освітлювальних пристроїв на ефективніші.

***Співвідношення статей видатків на освітлення.*** Формування будь-якої програми, скерованої на енергоощадність та скорочення видатків на освітлення, значною мірою залежить від визначення і розуміння

значення окремих статей видатків, які в сумі дають повні видатки на організацію освітлення. Нерідко зв'язок між різними складовими видатків виявляється складним, тому розпочнемо з розгляду простого прикладу.

Звичайна лампа розжарювання з вольфрамовою ниткою напругою 220 В і потужністю 100 Вт коштує приблизно 1 грн 15 к. Упродовж її часу служби, що становить 1 000 годин, вартість спожитої енергії (беручи тариф 15 к/кВт · год] – 15 грн. Таким чином, загальні видатки на придбання лампи й оплату спожитої енергії становлять 16 грн 15 к. Стаття видатків, що стосується вартості самої лампи становить 7 %, а стаття видатків на енергію – 93 %. Для спрощення поточні витрати на обслуговування не враховані, вони можуть бути віднесені до накладних видатків.

Аналіз структури видатків для більшості освітлювальних установок засвідчує, що вартість електроенергії є основною складовою видатків. Сама суть енергоменеджменту щодо електричного освітлення передбачає зміну окремих складових видатків застосуванням ефективнішого освітлювального обладнання або методів чи режимів для забезпечення такого самого або й кращого рівня освітлення. Це в результаті приводить до зменшення споживання електроенергії і скорочення загальних видатків.

Переважну більшість освітлювальних установок можна покращити, зважаючи на зменшення загальних грошових витрат і скорочення споживання електроенергії, якщо запровадити вдосконалені технології та ефективніше обладнання. Реалізація деяких проєктів зі значними вигодами може потребувати дуже незначних чи взагалі нульових капіталовкладень. В інших випадках можуть знадобитися капіталовкладення та нове обладнання, і тоді

необхідно порівняти обсяг капіталовкладень з економією експлуатаційних видатків.

**Аналіз складових видатків.** Для організації електричного освітлення необхідно здійснити наведені нижче видатки. Початкові капітальні вкладення:

- капітальні вкладення в освітлювальне обладнання;
- видатки на монтаж (оплата робочої сили і вартість матеріалів).

Експлуатаційні видатки:

- видатки на придбання ламп для заміни;
- видатки на обслуговування освітлювальних установок (оплата обслуговувального персоналу);
- видатки на оплату вартості електроенергії.

Для зручності звичайно розглядають річні видатки, щоб можна було оцінити значущість окремих складових стосовно одна одної, а також оцінити загальні видатки.

**Технічне обслуговування освітлювальних систем.**

Стосовно електричних ламп поняття «термін служби» має чотири чітких визначення:

- повний термін служби лампи – проміжок часу від початку служби до виходу з ладу;
- середній термін служби партії ламп – середній проміжок часу від початку служби ламп партії до виходу їх із ладу;
- корисний термін служби лампи – проміжок часу, після якого світловіддача лампи внаслідок нормального процесу старіння знижується до такого рівня, що економічно доцільним стає її заміна;
- гарантований термін служби – мінімальний гарантований виробником повний термін служби лампи.

Лампи розжарювання підпадають під перше означення терміну служби. У стандартах зазначають



середній термін служби поширених типів ламп за заданих умов експлуатації.

Газорозрядні лампи підпадають під третє означення. Термін служби газорозрядних ламп являє собою складне питання і поняття «терміну служби» для таких ламп не обумовлюється ніякими міжнародними стандартами.

Сучасні газорозрядні лампи можуть зберігати працездатність упродовж багатьох тисяч годин, однак із часом світловіддача ламп унаслідок старіння постійно знижуються. У результаті якщо експлуатувати лампу до електричної відмови, її світловіддача може знизитися на 50 % чи більше порівняно з початковим значенням. Практично газорозрядні лампи необхідно замінювати через найекономічніші для конкретної установки терміни.

**Старіння і планова заміна ламп.** В усіх, за винятком дуже малих, освітлювальних системах доцільно проводити групову заміну ламп із запланованою періодичністю. Аналогічно під час технічного обслуговування люмінесцентних світильників зі стартерами тліючого розряду економічно доцільно проводити групову заміну стартерів, але вдвічі рідше, ніж ламп (тобто за кожної другої заміни ламп).

Оптимальний період заміни ламп залежить від витрат електроенергії і втрат на оплату робочої сили для конкретної установки. Загальне правило полягає в тому, що групову заміну ламп необхідно проводити тоді, коли вартість втраченої даремно енергії дорівнює вартості заміни ламп. Додаткове обмеження полягає в тому, що лампи потрібно замінювати до того, як їх світлова віддача впаде нижче ніж 70 % від початкового значення. Для одержання кривої світлового старіння певного типу ламп необхідно звернутися до фірми-виготовлювача.

**Планове технічне обслуговування.** Несвоєчасне чищення світильників може знизити освітленість на 15–30 % і більше, що призводить до:

- зниження продуктивності праці і якості продукції;
- погіршення психофізіологічного стану людей;
- підвищення виробничого травматизму.

У зв'язку з цим на кожному підприємстві повинен бути графік чищення світильників, який затверджують офіційно. Це дозволяє досягти близько 15 % заощаджень енергії, оскільки в цьому разі потрібна установка меншої кількості освітлювального обладнання.

Регулярним чищенням зашкленних поверхонь виробничих будівель і приміщень (не рідше ніж двічі за 1 рік) можна скоротити тривалість роботи ламп у разі двозмінної роботи підприємства не менше ніж на 15 % в зимовий час і на 50–70 % у літній.

Для підвищення коефіцієнта використання природного і штучного освітлення приміщення виробничих і громадських будівель потрібно фарбувати в світлі тони, що дозволить зменшити кількість установлених світильників за умови забезпечення заданих норм освітлення.

Усі поверхні певною мірою поглинають світло. Чим менша їх здатність відбиття, тим більше світла вони поглинають. Звідси випливає що поверхні, пофарбовані у світлі відтінки кольорів, є ефективнішими, однак їх потрібно регулярно фарбувати, мити чи обклеювати наново для того, щоб забезпечити економічне використання освітлення. Взаємовідбиття від кольорових поверхонь у кімнаті може вплинути на кількість і спектральний склад світла на робочих поверхнях.

**Режими керування освітленням.** Автоматичне керування зовнішнім освітленням порівняно з ручним має за статистикою економію електроенергії 2–4 %.

Керування освітленням у приміщеннях із боковим і комбінованим природним освітленням повинно дозволяти вимкнення рядів світильників, паралельних до вікон. Інколи світильники вимикаються групами, які за умовами виробництва повинні працювати одночасно. Це може дозволити знизити витрати електроенергії приблизно на 5–10 %.

У системах освітлення великих приміщень (і площею понад 500 м<sup>2</sup>) із великою питомою встановленою потужністю необхідно передбачати дистанційне автоматичне чи ручне керування штучним освітленням. Це дозволяє:

- своєчасно вмикати і вимикати (частково чи повністю) освітлювальну установку на початку і в кінці робочого часу з урахуванням графіка роботи виробничого обладнання; економія енергії за рахунок цього становить близько 10–15 %;

- вимикати освітлювальну установку з газорозрядними лампами на час обідньої перерви (тривалістю 45 хвилин і більше), залишаючи увімкненим лише чергове освітлення, економія енергії – до 10–15 %;

- у приміщеннях із комбінованим освітленням вмикати чи вимикати частини світильників освітлювальної установки залежно від рівня природного освітлення в різних зонах приміщення. Економія електроенергії приблизно 10–20 % залежно від сезонної тривалості світлого часу доби і графіка роботи конкретного підприємства.

#### ***Контроль справності освітлювальної арматури.***

Для зменшення споживання електроенергії освітлювальними установками і люмінесцентними лампами необхідно контролювати справність баластних компенсуювальних конденсаторів пускорегулювальної апаратури.

**Економія електроенергії за рахунок зниження напруги.** Потенціальні можливості економії електроенергії за рахунок зниження напруг наведені в таблиці 3.5.

**Таблиця 3.5 – Потенціал економії енергії за рахунок зниження напруги**

Тип лампи	Рівень напруги, % від U ном.	Світловий потік, % від Ф ном.	Економія енергії, % від W ном.
Розжарювання	90	68	15
	85	56	23
Ртутні лампи ДРЛ	90	67	24
	85	051	36
Люмінесцентні	90	90	13
	85	84	19
Ксенонові типу ДКсТ	90	55	35
	85	33	53

Додатково можна зауважити, що режим роботи зі зниженою наругою істотно збільшує термін служби ламп розжарювання.

**Перехід на нові джерела світла.** У чинній освітлювальній системі перехід на ефективніші джерела світла дозволив скоротити споживання електроенергії, а відповідно й видатки. В одних випадках такий перехід вимагає мінімальних або навіть нульових капітальних затрат, в інших випадках необхідні додаткові елементи керування, заміна типу світильників і (чи) їх розміщення.

Річна економія електроенергії за рахунок заміни джерел світла на нові  $\Delta W$  визначається за формулою

$$\Delta W = \Delta P_{oc} \cdot K_{II} \cdot T_{oc},$$

$$\Delta P_{oc} = n_c \cdot P_c - n_H \cdot P_H,$$

де  $P_C$ ,  $P_H$  – одиничні потужності старих і нових джерел світла, кВт;

$n_C$ ,  $n_H$  – відповідно кількість старих і нових джерел світла, шт.;

$K_H$  – коефіцієнт попиту освітлювального навантаження;

$T_{OC}$  – річна кількість годин використання максимуму освітлювального навантаження, годин.

Співвідношення енергетичної ефективності різних джерел світла між собою для орієнтовного оцінювання економії електроенергії, яка може мати місце в разі заміни ламп за умови однакової розрахункової освітленості, наведено в таблиці 3.6.

**Таблиця 3.6 – Очікувана економія електроенергії від заміни джерел світла**

Замінюване джерело світла	Середнє значення можливої економії енергії, %
Ртутні лампи низького тиску (люмінесцентні) на металогалоїдні	24
Ртутні лампи високого тиску на:	
– металогалоїдні	42
– ртутні низького тиску (люмінесцентні)	22
– натрієві	45
Лампи розжарювання на:	
– металогалоїдні	66
– ртутні низького тиску (люмінесцентні)	55
– натрієві	68
– ртутні низького тиску (типу ДРЛ)	42

Такі заміни, однак, не завжди є допустимими. Необхідно врахувати також інші умови, наприклад,

недопустимість пульсації світлового потоку через виникнення стробоскопічного ефекту.

**Потенційні заощадження від заміни джерел світла.** Аналіз видатків більшості освітлювальних установок засвідчує, що основну частку видатків становить вартість електроенергії.

Зведені річні видатки на промислові освітлювальні установки  $Z$  обчислюють за формулою

$$Z = 0,2K + L,$$

де  $K$  – капіталовкладення в освітлювальну установку;

$0,2$  – коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

$L$  – річні експлуатаційні видатки.

Перший стовбець ілюструє випадок використання освітлювальної установки з ртутними лампами високого тиску ДРЛ (МВР). Друга колонка побудована для таких самих умов освітлення, але в разі застосування натрієвих ламп високого тиску.

Під час оцінювання ефективності систем освітлення важливо визначити дійсні видатки кожної системи. Це передбачає не лише порівняння відповідних коштів на придбання ламп і світильників. Тут важливо не знехтувати іншими істотними факторами, такими як зменшення кількості світильників, використання регуляторів, відбивальна здатність поверхонь, величина засклених поверхонь та характер використання приміщень. Під час розрахунків корисно оцінити переваги і недоліки альтернативних варіантів капітальних вкладень і відповідні терміни окупності, враховуючи будь-які фінансові асигнування і (чи) податкові пільги.

### **3.1.6 Порівняння варіантів освітлювальних систем**

Як приклад оцінювання доцільності певного енергоощадного заходу розглянемо випадок заміни в

будівлі світильників із лампами розжарювання на світильники з натрієвими лампами високого тиску.

У будівлі площею 6 300 м<sup>2</sup> встановлено 252 світильники з лампами розжарювання. Потужність кожної лампи – 500 Вт, світловіддача – 15 лм/Вт, що дає загальний світловий потік 1 890 000 лм, який рівномірно розподілений по площі будівлі. Рівень освітленості – 300 люксів.

Дослідження показали, що такий самий рівень освітленості в приміщеннях будівлі можуть забезпечити 48 світильників із натрієвими лампами високого тиску потужністю 431 Вт. Світловіддача цих ламп – 100 лм/Вт, відповідно загальний світловий потік становить 2 068 800 лм. Середня освітленість становитиме 328 люксів, хоча в деяких зонах вона може бути вищою, а в деяких – нижчою. Як бачимо з таблиці 3.7, початкові капітальні вкладення на встановлення натрієвих ламп високого тиску становлять 83 520 гривень. У першому варіанті з лампами розжарювання капіталовкладення непотрібні, бо мова йде про чинну освітлювальну систему.

**Таблиця 3.7 – Капіталовкладення варіантів**

Показник варіанта	Тип і потужність ламп	
	Кількість світильників	252
Вартість одного світильника (разом із пристроями керування, але без ламп), грн		900
Вартість заміни однієї лампи, грн	60	240
Вартість установавання одного світильника		600
Сумарні капітальні вкладення, грн		83 520

Після визначення кількості й вартості нових світильників необхідно розрахувати кількість заощадженої енергії.

Лампи розжарювання споживають 378 000 кВт · год енергії (252 світильники · 500 Вт · 3 000 годин). Вартість спожитої за 1 рік електроенергії за тарифу 15 к./кВт · год становить 56 700 гривень.

Аналогічні розрахунки для варіантів із натрієвими лампами дають (з урахуванням коефіцієнта потужності) значення спожитої енергії 65 720 кВт · год вартістю 9 858 гривень.

Дані порівняння варіантів за цим показником зведені в таблицю 3.8.

**Таблиця 3.8 – Споживання енергії за порівнювальними варіантами**

Показник варіанта	Тип і потужність ламп	
	розжарювання, 500 Вт	натрієві високого тиску, 431 Вт
Кількість світильників	252	48
Споживана потужність, Вт	500	431
Коефіцієнт потужності	1,0	0,85
Тариф на ел. енергію грн/кВт · год	0,15	0,15
Тривалість роботи упродовж 1 року	3 000*	2 700**
Загальні витрати на електроенергію	56 700	9 858

**Примітки:**

\* – передбачається ручне керування освітленням;

\*\* – передбачається керування освітленням за допомогою вимикача з годинниковим механізмом, щоб час роботи освітлення збігався з робочим часом об'єкта

Наступним етапом є обчислення втрат на обслуговування освітлювальних систем (очищення



світильників, зміна ламп тощо). За попереднім оцінюванням очищення кожного світильника коштує 5 грн.

Лампи розжарювання необхідно чистити тричі за 1 рік. Отже, витрати на очищення становлять 3 780 грн.

Натрієві лампи потребують очищення двічі за 1 рік, у результаті витрати на очищення становлять 480 грн.

Термін служби лампи розжарювання – 1 000 годин. Отже, за умови, що тривалість освітлення становить 3 000 годин, в кожному світильнику необхідно буде впродовж року замінити лампу тричі. Якщо вартість лампи розжарювання становить 60 грн, то загальні річні витрати на заміну ламп – 45 360 грн ( $252 \cdot 3 \cdot 60$ ).

Термін служби натрієвих ламп – 10 000 годин, у разі тривалості роботи впродовж року 2 700 годин в кожному світильнику при йдеться умовно замінити 0,27 ламп. Вартість натрієвої лампи дорівнює 240 грн, отже загальні річні витрати на заміну ламп становлять 3 110,4 грн ( $48 \cdot 0,27 \cdot 240$ ).

Річні витрати на обслуговування для варіанта з лампами розжарювання становлять 49 140 грн ( $3 780 + 45 360$ ), для варіанта з натрієвими лампами – 3 590,4 грн ( $480 + 3 110,4$ ).

Економія щорічних видатків становить (табл. 3.9)  $105 840 - 13 448 = 92 392$  (грн) Капіталовкладення в нову систему освітлення – 83 520 грн. Ці капіталовкладення окупляться впродовж терміну  $T$ :

$$T = 83520/92392 = 0,9 \text{ року.}$$

Отже, термін окупності становитиме лише 0,9 року.

**Таблиця 3.9 – Експлуатаційні витрати варіантів**

Показник варіантів	Тип і потужність ламп	
	розжарювання, 500 Вт	натрієві високого тиску, 431 Вт
Кількість світильників	252*	48*
Вартість очищення одного світильника	5	5
Інтервал між очищенням (роки)	0,33	0,5
Загальні річні витрати на очищення, грн	3 780	480
Вартість ламп для зміни обслуговування, грн	45 360	3 110
Річні витрати на обслуговування	49 140	3 590
Загальні річні експлуатаційні витрати (витрати на електроенергію і на обслуговування), грн	105 840	13 448

**Примітка:**

\* світильники однолампові

Візьмемо, що термін роботи світильників і пускорегулювальної апаратури становить 10 років, ставка дисконтування – 30 %.

Визначимо чисту зведену вартість проєкту заміни джерел світла.

Нагадаємо, що дисконтування враховує той факт, що вартість суми, яка буде одержана в майбутньому  $S_M$  (на час її появи), менша від її нинішньої вартості:

$$S_H = S_M / (1+r)^n,$$

де  $r$  – ставка дисконту;

$n$  – число повних років до появи майбутнього доходу (видатків).

Чиста зведена вартість враховує вигоду від проекту впродовж всього терміну його використання (табл. 3.10).

**Таблиця 3.10 – Чиста зведена вартість проекту**

Рік	Капіталовкладення, грн	Економія річних експл. видатків, грн	Грошовий потік, грн	$(1 + r)^n$	Нинішня вартість, грн
0	- 83 520	0	- 83 520	1	- 83 520
1	0	9 239	9 239	0,769	71 049
2	0	9 239	9 239	0,592	54 694
3	0	9 239	9 239	0,455	42 038
4	0	9 239	9 239	0,350	32 337
5	0	9 239	9 239	0,269	24 853
6	0	9 239	9 239	0,207	19 125
7	0	9 239	9 239	0,159	14 690
8	0	9 239	9 239	0,123	11 364
9	0	9 239	9 239	0,094	8 685
10	0	9 239	9 239	0,073	6 745
Разом: Чиста зведена вартість					202 062

Отже, чистий зведений до нинішньої вартості дохід від реалізації проекту за час його використання становить 202 062 грн.

Ставку дисконтування можна взяти такою, що дорівнює відсотковій ставці банківського кредиту в авторитетному банку держави.

Інколи для оцінювання ступеня ризику реалізації проекту визначають внутрішню норму прибутку – це така ставка дисконту, за якої чиста зведена вартість є нульовою. У нашому прикладі внутрішня норма прибутку становить близько 125 %. Це означає, що реалізація проекту дасть нульовий дохід, якщо вартість коштів буде щорічно впродовж терміну використання проекту знижуватися в 2,25 рази.

Таким чином, для заощадження електроенергії і коштів у системах освітлення:

- налагодьте належне обслуговування освітлювальних установок, регулярно очищайте світильники, лампи, вікна і замінійте лампи, які внаслідок природного старіння втратили свої світлотехнічні властивості;

- розгляньте можливість запровадження автоматичного керування електричним освітленням, щоб виключити роботу штучного освітлення за достатнього природного та за відсутності людей у приміщенні;

- розгляньте можливість застосування якісних сучасних рефлекторів, організації локалізованої системи загального освітлення, фарбування стін і конструкцій у світлі кольори;

- проаналізуйте можливість застосування сучасних енергоощадних ламп і світильників;

- звичайні лампи розжарювання, що працюють понад 4 000 годин за 1 рік, замініть на ефективніші системи освітлення, за однакового рівня світлового потоку лампа розжарювання споживає в п'ять разів більше електроенергії, ніж газорозрядна люмінесцентна лампа;

- для нових люмінесцентних систем освітлення з тривалістю роботи понад 5 000 годин за 1 рік рекомендується застосовувати електронні високочастотні

баласти, які дозволяють заощаджувати до 30 % електроенергії;

– для світильників, що встановлюються на висоті понад 5 м від рівня освітлювальної поверхні, рекомендується застосовувати замість люмінесцентних ламп металгалідові;

– малогабаритні люмінесцентні лампи рекомендується встановлювати в коридорах, приймальних, на сходових клітках і в туалетах.

## **3.2 Методи підвищення енергоефективності систем освітлення**

### **3.2.1 Використання ефективних ламп розжарювання**

*Технологія.* Лампи розжарювання є одним із неефективних джерел освітлення серед існуючих. Ці лампи дуже вразливі до коливання напруги та мають короткий термін використання (750–2 500 годин). Типово, лише 10 % енергії (потужності) витрачається саме на виробництво світла, решта ж перетворюється на тепло.

*Застосування.* У деяких випадках застосування ламп розжарювання не лише краще, а й життєво необхідно через їх низьку світлову температуру (наприклад, у музеях). Для такого застосування зараз існують лампи розжарювання малої потужності. Також рекомендується, щоб у таких випадках використовувався параболічний алюмінієвий рефлектор (PAR) та R-лампи. Як альтернативу також можна використати вольфрамові галогени, кварцові, йодові, а також криптонові, спектрально оброблені та низьковольтні лампи. Ці лампи зовні мають вигляд конвенційних ламп розжарювання, але спеціальний газ-наповнювач надає їм довшого строку служби та підвищену енергоефективність.

**Рекомендації.** Через те що лампи розжарювання застаріло неефективні, їх не потрібно використовувати в місцях, де можна застосувати більш енергоефективні технології, такі як компактні флуоресцентні та металгалідові лампи низької потужності.

### **3.2.2 Використання флуоресцентних ламп та енергозберезних ламп високої інтенсивності розряду**

**Технологія.** У стандартних 40-ватних флуоресцентних лампах (часто їх називають F40) використовують скляну трубку T-12 (T означає трубчаста, 12–12/8 дюйма в діаметрі). Більш ефективні системи освітлення зараз використовують лампи типів T-10 та T-8.

**Застосування.** Стандартні лампи T-12 розміром 4 фути зараз найбільш поширене джерело світла у комерційних та урядових секторах. Лампи ЛСД на сьогодні використовують у 10 разів більше, ніж будь-які інші, взяті разом. Тому упровадження їх дозволить зекономити як енергію, так і кошти.

Лампи T-10 можна використати з конвенційними баластами T-12. За допомогою T-10 можна підвищити рівень світла на 17 % порівняно з T-12. Через це їх часто використовують у програмах модернізації. Однак якщо замінюються як лампи, так і панелі, то необхідно врахувати можливості використання ламп типу T-8 та електронних баластів. Лампи T-8 працюють на низькому струмі (265 мА) і тому повинні використовуватися з баластами, створеними спеціально для них. Лампи T-8 з електронними баластами мають найвищу світлову ефективність серед усіх флуоресцентних систем (більше ніж 90 лм/Вт).

**Рекомендації.** Замінити існуючі стандартні лампи T-12 більш ефективними T-8 з електронними баластами, і

конвертувати на натрієві високого тиску або металгалідові системи у великих приміщеннях (наприклад, складах). Використовують також компактні флуоресцентні лампи.

**Технологія.** Компактні флуоресцентні лампи виробляють світло з високими люменами, тому що вони використовують високоефективні фосфори з високою кольоровою віддачею.

Інтегральні компактні флуоресцентні лампи мають вбудовані баласты та світлову ефективність 61 лм/Вт (для 15–18 ватних ламп). Модульні компактні флуоресцентні лампи мають змінні лампи та світлову ефективність від 50 лм/Вт до 69 лм/Вт. Циркулярні лампи цього типу мають менші показники світлової ефективності та кольорової віддачі.

**Застосування.** У багатьох випадках компактні флуоресцентні лампи є найвигіднішою заміною для ламп розжарювання, тому що вони мають подібну кольорову віддачу, але можуть служити в 13 разів довше. Компактні флуоресцентні лампи підходять для різноманітних цілей (локальні світильники, поверхневе освітлення, знаки «Вихід» і таке інше).

**Застереження.** Компактні флуоресцентні лампи не варто використовувати в приміщеннях із високими стелями (вище ніж 3,5 метра). Вони також неефективні в умовах високих та низьких температур. Перед тим як переходити на компактні флуоресцентні лампи, будьте впевнені, що панелі та їх потужності сумісні для використання.

**Таблиця 3.11 – Порівняння потужностей ламп розжарювання та компактних флуоресцентних ламп за однакового освітлення**

Існуючі лампи розжарювання, Вт	Рекомендовані компактні флуоресцентні лампи, Вт
25	3
40	7
50	9
60	13
75	18
100	26
150	40

**Рекомендації.** Компактні флуоресцентні лампи необхідно використовувати як локальні світильники, поверхневе освітлення, знаки «Вихід» і таке інше. Флуоресцентні лампи часто використовують з розширеними рефлекторами.

**Технологія.** Флуоресцентні панелі з розширеними рефлекторами поверхню, подібну до дзеркальної, що фіксує світло прямо та збільшує його люменові показники. Установлення рефлекторів дозволяє підвищити рівень світла на 17 %.

**Застосування.** Рефлектори можуть бути використані як частина програм зменшення кількості світильників, щоб підвищити ефективність панелі та показники рівня світла. Через те що рефлектори перенаправляють світло, яке раніше втрачалось поза лампами, вони підвищують люменові показники і тому дуже корисні для деяких панелей.



## **Використання газорозрядних ламп з електронними баластами та ламп високої інтенсивності розряду**

*Технологія.* Баласты використовуються з усіма лампами газового розряду, щоб забезпечити високу стартову напругу, вирівняти напругу мережі із напругою лампи та обмежити струм, що проходить через неї. Є два основні класи баластів: магнетичні та електронні. Електронні баласты забезпечують той самий рівень світла, при цьому зменшуючи енергоспоживання на 25 %. Значного ефекту в енергозбереженні можна досягти використовуючи електронні баласты, тому що вони працюють на вищій частоті, ніж магнетичні. Вища частота також дозволяє зменшити гул під час роботи ламп та майже повністю ліквідувати ефект мерехтіння.

*Застосування.* Швидкий старт, миттєвий старт, регульовані вихідні показники та використання з майже всіма флуоресцентними лампами. Рекомендації: у разі заміни системи на лампах розжарювання системами флуоресцентного освітлення або ж навіть під час заміни стандартних ламп Т-12 та магнетичних баластів – Т-8 найвигідніша заміна. Ця комбінація забезпечує найбільше енергозбереження та має чудову кольорову віддачу.

## **Енергозбережні лампи високої інтенсивності розряду**

*Технологія.* Енергозбережні лампи високої інтенсивності розряду (ВІР) працюють за подібним до флуоресцентного принципу. Хоча вони виробляють більше світла і тепла, вони все ж потребують менше енергії. Лампи ВІР мають довгий термін використання та високі люменові показники. Типове їх застосування – в місцях, де світло

ввімкнене впродовж довгого часу, а також зовнішнє освітлення (стоянки для автомобілів, вуличне освітлення). Усі лампи ВІР потребують періодів розігріву та повторного спалаху (час, за який газ-наповнювач у лампі охолоджується та внутрішній тиск знижується перед тим, як дуга знову спалахне), тому ці лампи не потрібно використовувати там, де потрібно постійно вмикати та вимикати світло. Для гасіння ламп ВІР потрібні спеціальні баласты, але через гасіння і ефективність лампи і світлові показники погіршуються.

**Застосування.** У деяких внутрішніх та зовнішніх освітлювальних системах лампи розжарювання чи лампи з ртутним випаровуванням можуть бути замінені на енергоефективні лампи ВІР.

**Застереження.** Для того щоб лампи ВІР працювали належним чином, потрібні спеціальні баласты. Використання непідходящих баластів призведе до більших операційних витрат, погіршення світлових показників, скорочення строку служби лампи та марнування енергії.

**Рекомендації.** Лампи ВІР можна використовувати для модернізації систем освітлення, де це можливо.

### 3.2.3 Використання металгалідів та натрієвих ламп

**Технологія.** Металгалідові (МГ) лампи використовують метали, що можуть бути з легкістю випарувані. Метали додаються до дуги запалення у формі металевих солей та ртуті разом з аргоном. У результаті цього світло має більше люменів на 1 Вт та кращу кольорову віддачу порівняно з, наприклад, лампами ртутної пари. Порівняно з лампами розжарювання або галогенними лампами галіди низької температури часто виробляють світло жовтого відтінку, коли металгаліди високої температури – зеленого.

**Застосування.** Металгаліди рекомендують встановлювати в місцях, що вимагають високих люмен-показників, таких як актові зали, або на вулиці, де важливо підтримувати кольорову віддачу.

Металгаліди доступні в діапазоні від 32 Вт до 2 000 Вт і світловіддачею від 50 лм/Вт до 115 лм/Вт. Лампи цього типу мають найкращу кольорову віддачу серед усіх у своєму класі, але строк їх служби відносно короткий.

**Застереження.** Нехтування робочими умовами може призвести до погіршення світлових показників та скорочення строку служби. Також усі металгаліди потребують спеціальних панелей або інших захисних заходів, щоб попередити удар струмом.

### **Натрієві лампи високого тиску**

**Технологія.** Натрієві лампи високого тиску (НВТ) відрізняються від інших ламп ВІР, тому що вони не мають стартових електродів; замість цього мережа баласту має високовольтний електронний стартер, який дозволяє лампі досягти повної потужності сяйва миттєво. Трубка зроблена з керамічного матеріалу, що дозволяє їй витримувати екстремальні температури. На відміну від ламп ртутної пари та металгалідів НВТ можуть перезапускатися без періодів повторного спалаху. Хоча ефективність таких ламп дуже висока 140 лм/Вт, колір світла дещо жовтий.

**Застосування.** Через властивості кольорової віддачі натрієві лампи високого тиску не використовуються там, де проходить життєво важлива активність. Натомість їх використовують для зовнішнього освітлення на паркінгах, будівельних майданчиках, у вуличному освітленні. НВТ також доступні в менших розмірах із нижчою потужністю для домашнього застосування. Через високу світловіддачу

їх широко використовують у комерційних та промислових приміщеннях із високими стелями.

### **Натрієві низького тиску**

**Технологія.** Натрієві лампи низького тиску (ННТ) – найбільш енергоефективне джерело світла, але виробляє світло з найгіршими показниками з усіх класів освітлення. Через те що вони монохромні, предмети, освітлені ННТ, здаються чорними, білими або з відтінками сірого. ННТ відзначені найвищими показниками ефективності (від 100 лм/Вт до 180 лм/Вт) і забезпечують чудову візуальну детальність. Вони доступні в діапазоні потужностей від 10 Вт до 180 Вт і мають довгий строк служби.

**Застосування.** Через те що кольорова віддача ННТ погана, їх необхідно використовувати там, де це не є істотним чинником. Наприклад, світло охорони, сходи, склади.

### **Енергозберіжні лампи на знаках «Вихід»**

**Технологія.** Через те, що знаки «Вихід» повинні бути ввімкнені весь час, навіть уночі та під час аварійних вимкнень електроенергії, існує великий потенціал для енергозбереження через модернізацію освітлювальних елементів. Це можна зробити через модернізацію вже існуючих технологій або через заміну старих новими енергоефективними. Серед доступних альтернативних рішень цього питання: світлові діоди, компактні флуоресценти або електрофлуоресценти. Рекомендації: освітлювальні елементи такого призначення легко замінити та модернізувати. Інвестиції матимуть швидкий строк окупності. Роботи з такими освітлювальними елементами повинні бути внесені до будь-яких програм модернізації,

особливо якщо для цих цілей до цього часу використовувалися лампи розжарювання.

### 3.2.4 Контроль та регулювання освітлення

**Технологія.** Заходи контролю освітлення поширені в промисловому та комерційному секторах. Це такі пристрої як: сенсори зайнятості приміщення, освітлення за розкладом, фоточуттєві елементи.

Сенсори зайнятості приміщення контролюють освітлення через вимкнення панелей під час відсутності руху в окремих приміщеннях. Пасивні інфрачервоні сенсори, фоточуттєві елементи та надзвукові сенсори руху найбільш поширені у використанні. Ці пристрої вбудовані у стіни та стелю; вони потребують тестування для забезпечення коректного покриття та порогів спрацювання.

Системи, вбудовані в стіни, замінюють існуючі стінні вимикачі; вони дешевші і їх легше встановити. Такі пристрої широко використовують у конференц-залах, індивідуальних офісах, підсобних приміщеннях.

Системи, вбудовані в стелю, потребують окремих вимикачів, щоб оперувати сенсорами, їх рекомендують у випадках, коли вони вигідніші ніж стінні системи: в місцях під охороною або кімнатах, де меблі чи обладнання заважатимуть стінним сенсорам. Сенсори повинні бути правильно встановлені та налаштовані. Більшість систем мають сумісні вимикачі для вимкнення світла: якщо кімната зайнята, якщо це потрібно.

Освітлення за розкладом забезпечує, щоб освітлення було увімкнене та вимкнене за встановленим розкладом (наприклад, під час робочих годин).

Механізми такого типу можуть бути як простим годинником, так і складною системою енергоменеджменту. Необхідно зауважити, що такі системи не дозволяють

економити енергію в час, коли світло ввімкнене (пусті офіси під час робочого дня).

Фоточуттєві елементи одержують інформацію про рівень природного освітлення та регулюють штучне. Вони, наприклад, можуть бути використані в системах охорони зранку до самого вечора. Разом із гасителями фоточуттєві елементи можна використовувати для того щоб регулювати рівень штучного освітлення впродовж доби (наприклад, удень у приміщеннях біля вікон із добрим природним освітленням).

**Застереження.** Успішне використання будь-якої з вищенаведених систем потребує обережного встановлення та налаштування відповідно до потреб конкретного замовника. Для безпеки споживача системи повинні мати сумісні вимикачі та цілодобове аварійне освітлення. Зони високої концентрації людей або ті, що перебувають у постійному використанні, не є підходящим місцем застосування систем із світлочутливими сенсорами.

**Рекомендації.** Використання систем освітлювання за розкладом, фотоелементів та сенсорів зайнятості приміщення мають широкі можливості для застосування і можуть входити до програм модернізації.

## Регулювання світлового потоку

Використання ламп, що працюють на високій (близько 30 кГц) частоті, сприяє впровадженню відносно дешевого регулювання світлового потоку люмінесцентних ламп. Це, ймовірно, повинно призвести до розроблення систем гнучкого керування світловим кліматом інтер'єрів, наприклад, плавним регулюванням штучного освітлення залежно від рівня природного чи розробленням конструкцій зі стабільним світловим потоком, де зниження світловіддачі

внаслідок старіння ламп компенсувалося б збільшенням їх потужності.

Використання високочастотних люмінесцентних ламп створює можливості підвищення ефективності (внаслідок простого регулювання світлового потоку), а також підвищує зоровий комфорт, унаслідок відсутності пульсацій світлового потоку. Високочастотні баластні елементи (дроселі) легко об'єднуються з електронними регуляторами, наприклад, для регулювання рівня освітленості залежно від рівня природної освітленості.

### **Висновки до розділу 3**

За останнє десятиліття до 15 % вироблюваної у світі енергії витрачалось на освітлення. Тому **системи освітлення є важливим об'єктом і полем діяльності для заощадження енергетичних ресурсів.**

В Україні переважна більшість освітлювальних установок (систем) далекі від вимог енергоощадності та економічності. Існує багато можливостей енергозбережної модернізації таких установок шляхом застосування ефективного обладнання для забезпечення такого самого або навіть кращого освітлення (комфортності) за одночасного зменшення споживання електроенергії і видатків на її оплату.

**Значного скорочення енерговитрат можна досягти за рахунок енергоефективної експлуатації та обслуговування систем освітлення** (автоматичне керування освітленням, регулювання світильників, планове технічне обслуговування освітлювальних систем, контроль справності обладнання тощо).

**Принципові питання з енергозбереження повинні вирішуватися під час проектування та в разі енергозбережної експертизи систем освітлення.**

### **Контрольні запитання до розділу 3**

1 У чому полягає відмінність між освітлювальними приладами і системами освітлення?

2 Які ви знаєте енергозбережні джерела світла? Наведіть приклади.

3 Що ви знаєте про електронні енергозбережні лампи з вбудованими фотоелементами (лампи автоматично вмикаються з настанням темряви та автоматично вимикаються за денного освітлення)? Сфери використання ламп.

4 Потенціал економії енергії в системах освітлення.

5 Енергозбережні заходи в системах освітлення. Наведіть приклади.

6 Поняття нормованої і фактичної освітленості. Питання охорони праці.

7 Які ви знаєте системи штучного освітлення?

8 Назвіть причини нераціонального використання електроенергії в системах освітлення.

9 Вплив фізичного стану освітлювальних приладів на витрати електроенергії.

10 Енергетичний аудит (енергетичне обстеження) систем освітлення. Цілі, завдання, сутність.

11 Що ви розумієте під енергозбережною експлуатацією освітлювальних приладів, систем?